

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

**PROTOCOLO DE PRUEBAS PARA LA EVALUACIÓN DE LA
TECNOLOGÍA WiMAX**

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
Por el Br. León M., José A.
Para optar al título de
Ingeniero Electricista

Caracas, 2005

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

PROTOCOLO DE PRUEBAS PARA LA EVALUACIÓN DE LA TECNOLOGÍA WiMAX

Prof. Guía: Ing. Rafael Rodríguez

Tutor Industrial: Ing. Juan Forero

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
Por el Br. León M., José A.
Para optar al título de
Ingeniero Electricista

Caracas, 2005

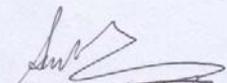
CONSTANCIA DE APROBACIÓN

Caracas, 15 de noviembre de 2005

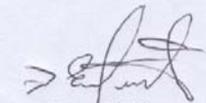
Los abajo firmantes, miembros del Jurado designado por el Consejo de Escuela de Ingeniería Eléctrica, para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por el Bachiller León M. José A., titulado:

“PROTOCOLO DE PRUEBAS PARA LA EVALUACIÓN DE LA TECNOLOGÍA WiMAX”

Consideran que el mismo cumple con los requisitos exigidos por el plan de estudios conducente al Título de Ingeniero Electricista en la mención de Comunicaciones, y sin que ello signifique que se hacen solidarios con las ideas expuestas por el autor, lo declaran APROBADO.


Prof. Antonio Martínez
Jurado


Prof. Rafael Rodríguez
Prof. Guía


Prof. Dan El Montoya
Jurado



DEDICATORIA

Agradezco a Dios y a la Virgen de Sabas Nieves por haberme dado claridad, ímpetu, salud y fortaleza para poder enfrentar mis metas.

A mi Papa por haberme enseñado a ser responsable, a ser muy observador, a escuchar y a basar mis ideas con fundamentos.

A mi Mama por haberme inculcado bondad, confianza, determinación y fortaleza.

A los dos por quererme tanto y cuidarme. Los quiero mucho.

A mis hermanos: Katty por ser buena compañera en estos momentos y con la que tengo la felicidad de graduarme este año, y Marco por ser un buen compañero en las buenas y las malas.

A mis tíos, tías, primos y primas por estar interesados por mí y por mi hermana ya que tenemos el orgullo de ser los primeros ingenieros de la familia León Collado y Medina Gamboa.

Y por ultimo a mis amigos y compañeros por haber compartido juntos esta experiencia de ser estudiantes universitarios.

RECONOCIMIENTOS Y AGRADECIMIENTOS

Agradezco enormemente a Juan Forero por haberme dado esta grandísima oportunidad de poder ayudar a la investigación y conocimiento de la tecnología más prometedora de esta y la próxima década. Por haberme enseñado a poner los pies sobre la tierra sin dejar de soñar y por ser una persona muy bondadosa.

Igualmente quiero agradecer a Carlos Pérez por la oportunidad, a Miguel Rahn por sus críticas que tomare en cuenta y a los compañeros de la gerencia de acceso.

A Dalisa, Vicente y Anayibis por ser agradables y buenos vecinos en todo el tiempo de mi pasantía.

A la Empresa Telefónica Movistar Venezuela por creer en el talento y capacidad de los profesionales venezolanos. Gracias.

Al Prof. Rafael Rodríguez por haberme ayudado y orientado para que este trabajo este a la altura e importancia que este tema merece ya que será de gran aporte a la escuela de eléctrica de la facultad de ingeniería de la U.C.V.

A todos Los profesores de la escuela de eléctrica por haberme formado no solo como ingeniero sino como persona con todas sus lecciones y consejos.

Y finalmente a la Universidad Central de Venezuela.

Gracias.

León Medina, José Antonio

PROTOCOLO DE PRUEBAS PARA LA EVALUACIÓN DE LA TECNOLOGÍA WiMAX

Prof. Guía: Rafael Rodríguez. Tutor industrial: Ing. Juan Forero. Tesis. Caracas. U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Eléctrica. Ingeniero Electricista. Opción; Comunicaciones. Institución: Movistar Venezuela. 2005. 100 h. + anexos.

Palabras Claves: WiMAX; WirelessMAN-OFDM; Conexiones; Flujos de servicio; Perfiles de ráfaga; Protocolo de pruebas; Banda ancha inalámbrica; Capacidad efectiva.

Resumen. Movistar Venezuela implementará una red de banda ancha inalámbrica de acceso fijo o nómada para prestar el servicio de Internet residencial con equipos terminales indoor, con el fin de poder competir en el mercado de banda ancha en la última milla. Por tal motivo se diseñó un protocolo de pruebas que sirve de instrumento para la evaluación y la selección de las soluciones basadas en la tecnología WiMAX, las cuales serán ofrecidas por los diversos fabricantes y proveedores una vez hayan sido certificadas por el WiMAX Forum. Para esto se estudió el estándar IEEE 802.16-2004 sobre el cual esta basada la tecnología WIMAX, descripciones de soluciones Pre-WiMAX ofrecida por los fabricantes, y documentación referente a esta tecnología que sirvió para extraer aspectos importantes que deben ser tomados en cuenta para la evaluación. Así mismo se caracterizó y propuso escenarios para la implantación inicial y futura de esta tecnología por parte de Movistar Venezuela. Por otra parte se extrajo aspectos de índole técnico que darán una visión de las capacidades de los equipos que conforman las soluciones y aspectos operacional donde se aprecia el desempeño y facilidades de instalación.

ÍNDICE GENERAL

CONSTANCIA DE APROBACIÓN	
DEDICATORIA	
RECONOCIMIENTOS Y AGRADECIMIENTOS	
RESUMEN.....	v
ÍNDICE GENERAL	vi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xii
ÍNDICE DE TABLAS	xiv
ACRÓNIMOS.....	xvi
INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO I	
DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA.....	3
1.1. Nombre de la Empresa.....	3
1.2. Descripción.	3
1.3. Movistar Venezuela y WiMAX.....	4
CAPITULO II	
DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	5
2.1. Planteamiento del Problema.	5
2.2. Objetivo General.....	6
2.2.1. Objetivos Específicos:	6
2.3. Metodología.	7
2.4. Limitaciones.....	7
CAPITULO III	
TECNOLIGÍA WiMAX.....	8
3.1. WiMAX.....	8
3.2. WiMAX Forum.....	9
3.3. Interoperabilidad.....	10

3.4. Soluciones WiMAX.....	11
3.4.1. Elementos que conforman una solución WiMAX.....	13
3.5. Estándar IEEE 802.16-2004.....	15
3.5.1. Modelo de referencia.....	16
CAPITULO IV	
ESPECIFICACIONES DE CAPA DE CONTROL DE ACCESO AL MEDIO	
(MAC), IEEE 802.16-2004.....	18
4.1. Sub-capa de convergencia de especificación de servicios (CS).....	19
4.1.1. Packet CS.....	20
4.1.1.1. Clasificación.....	20
4.2. Sub-Capa de parte común del MAC (MAC CPS).....	22
4.2.1. Unidades de datos de protocolo (MAC PDU).....	23
4.2.1.1. Cabeceras MAC.....	24
4.2.1.2. Sub-cabeceras MAC.....	25
4.2.1.3. Mensajes de gestión MAC.....	26
4.2.2. QoS.....	26
4.2.2.1. Flujos de servicio.....	27
4.2.2.2. Clases de servicio.....	30
4.2.2.3. Servicios de planificación.....	31
4.2.3. Asignación de ancho de banda y mecanismos de petición... ..	32
4.2.3.1. Petición.....	33
4.2.3.2. Concesión.....	33
4.2.3.3. Polling.....	34
4.2.4. Entrada a La Red e Inicialización.....	35
4.2.4.1. Rastreo y sincronización del canal Downlink.	36
4.2.4.2. Obtención de parámetros del Downlink y del Uplink.....	36
4.2.4.3. Inicio del Ranging.....	37
4.2.4.3.1. Gestión de perfil de ráfaga en el Downlink.....	38

4.2.4.3.2. Mensajes descriptores de canal	39
4.2.4.4. Negociación de capacidades básicas.	40
4.2.4.5. Autorización de SS y llaves de intercambio.	40
4.2.4.6. Registro.....	40
4.2.4.7. Inicio de conectividad IP.	41
4.2.4.8. Establecimiento de las conexiones de aprovisionamiento.	41
4.3. Sub-capa de seguridad	42
4.3.1. Protocolo de gestión de llaves (PKM).....	43
4.3.2. Asociaciones de Seguridad.....	44
 CAPITULO V	
ESPECIFICACIONES DE CAPA FÍSICA WIRELESSMAN-OFDM (PHY), IEEE	
802.16-2004.....	45
5.1. Modulación OFDM.....	45
5.2. Símbolo OFDM.	46
5.3. Estructura de la Trama OFDM-PHY.	49
5.4. Mediciones de calidad del canal.	51
5.5. Mecanismos de control de la capa física PHY.....	52
5.5.1. Sincronización.	52
5.5.2. Ranging.....	53
5.5.3. Petición de ancho de banda.....	54
5.5.4. Control automático de potencia.	55
 CAPITULO VI	
INTERCONEXIÓN DE LA RED WiMAX CON EL CORE IP.....	
6.1. Interconexión.	57
6.1.1. Wi-Fi.....	58
6.1.2. VoIP.....	59
 CAPITULO VII	
DEFINICIÓN DE LOS ESCENARIOS A CONSIDERAR PARA EL DESPLIEGUE DE REDES WiMAX EN VENEZUELA POR PARTE DE MOVISTAR.....	
	61

7.1. Bandas de frecuencia óptimas para prestar servicio WiMAX.....	61
7.2. Características de Escenarios.....	62
7.2.1. Situación Geográfica.....	63
7.2.2. Condiciones de Propagación.....	63
7.2.3. Sectores de la Población.....	65
7.2.4. Sectorización de Estaciones Bases.....	66
7.2.5. Tipos de Usuarios.....	68
7.2.6. Tipos de Servicios.....	68
7.3. Escenarios posibles para prestar servicios WiMAX por parte de Movistar Venezuela.....	69
7.3.1. Escenario primario.....	69
7.3.2. Escenarios Secundarios.....	71

CAPITULO VIII

PROTOCOLO DE PRUEBAS.....	73
8.1. Propósito de las pruebas.....	73
8.2. Solicitud de información.....	73
8.3. Aspectos y criterios para la evaluación.....	74
8.4. Consideraciones generales para las pruebas.....	74
8.5. Elementos utilizados en las pruebas.....	77
8.6. Arquitectura general del sistema a ser probado.....	78
8.7. Pruebas Técnicas.....	79
8.7.1. Requerimientos.....	79
8.7.2. Prueba de verificación de perfil de ráfaga y BER.....	79
8.7.2.1. Objetivo de la prueba.....	79
8.7.2.2. Esquema de la prueba.....	80
8.7.2.3. Procedimiento.....	80
8.7.3. Capacidad efectiva y Mediciones de calidad del canal.....	82
8.7.3.1. Objetivo de la prueba.....	82
8.7.3.2. Esquema de la Prueba.....	82
8.7.3.3. Procedimiento.....	83

8.7.4. Análisis de datos	84
8.7.5. Puntuación	85
8.7.6. Prueba de verificación de parámetros de tráfico QoS.....	86
8.7.6.1. Objetivo de la prueba.....	86
8.7.6.2. Requerimientos.....	86
8.7.6.3. Procedimiento.....	87
8.7.6.4. Puntuación.....	87
8.7.7. Prueba de sistemas de gestión.....	88
8.7.7.1. Objetivo de la prueba.....	88
8.7.7.2. Procedimiento.....	89
8.7.8. Puntuación.....	89
8.8. Pruebas Operacionales	89
8.8.1. Pruebas de instalación y configuración de equipos terminales.	
89	
8.8.1.1. Objetivo de la prueba.....	89
8.8.1.2. Requerimientos.....	90
8.8.1.3. Procedimiento de la prueba.....	90
8.8.1.4. Puntuación.....	91
8.8.2. Pruebas de Aplicaciones de Internet.....	91
8.8.2.1. Objetivo de la prueba.....	91
8.8.2.2. Requerimientos.....	91
8.8.2.3. Procedimiento.....	92
8.8.2.4. Puntuación.....	93
8.9. Pruebas adicionales.....	94
8.9.1. Pruebas de telefonía IP/WiMAX.....	94
8.9.1.1. Objetivo de la prueba.....	94
8.9.1.2. Requerimientos.....	95
8.9.1.3. Evaluación.....	95
8.10. Matriz de evaluación/puntuación.....	96
CONCLUSIONES	98

RECOMENDACIONES	99
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	101
BIBLIOGRAFÍAS	103
ANEXO.....	104

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema de una solución WiMAX.	12
Figura 2. Disposición en capas y los puntos de acceso de servicio (SAP).	16
Figura 3. Formato de la MAC SDU.	20
Figura 4. Clasificación y mapeo de la CID en el Downlink.	21
Figura 5. Formato de una MAC PDU.	24
Figura 6. Cabecera MAC PDU genérica (a) y de petición de ancho de banda (b). ...	25
Figura 7. Formato de un mensaje de gestión MAC.	26
Figura 8. Modelo de objetos de la operación del protocolo MAC.	27
Figura 9. Máquina de estado de gestión de flujos de servicio.	30
Figura 10. Diagrama de flujo de el proceso entrada a la red.	35
Figura 11. Transición de perfil de ráfaga y los umbrales de decisión.	39
Figura 12. Estructura en tiempo de un símbolo OFDM.	46
Figura 13. Estructura de símbolo OFDM en frecuencia.	48
Figura 14. Estructura de trama WirelessMAN-OFDM-PHY para el caso TDD.	50
Figura 15. Regiones REQ y Oportunidad de transmisión TO.	54
Figura 16. Diagrama de interconexión al Core IP.	57
Figura 17. Diagrama de una red VoIP basada en SIP, interconectado con redes WiMAX y PSTN.	60
Figura 18. Tipos de enlace.	64
Figura 19. Sectorización de Estaciones Base.	67
Figura 20. Densidad de datos vs usuarios.	71
Figura 21. Topología de la red a ser probada.	78
Figura 22. Esquema de pruebas de verificación de perfil de ráfaga y BER.	80
Figura 23. Esquema de la prueba capacidad efectiva y mediciones de calidad del canal.	82

Figura 24. Tasa de transmisión de datos neta y perfiles de ráfaga para canales de 3.5 MHz con un prefijo cíclico de 1/32 (ver tabla 10).	84
Figura A4.1. Trama ATM CS PDU	120
Figura A4.2. Formato de ATM CS PDU para una conexión VP-switch.	122
Figura A4.3. Ejemplo de señalización PHS.	124
Figura A5.1. Operación del mecanismo ARQ en el Uplink.	126
Figura A5.2. Ejemplo de ráfaga FDD.	126
Figura A5.3. Ejemplo de una ráfaga TDD.	127
Figura A5.4. Colocación del UL-MAP para un mínimo (a) y un máximo (b) Allocation star time, para una trama FDD.	128
Figura A5.5. Sistema AAS.	130
Figura A5.6. Ejemplo de resolución de contención hasta la ultima oportunidad.	132
Figura A6.1. Diagrama de bloques de un transmisor y un receptor OFDM 256 FFT.	134
Figura A6.2. PBRS para aleatorización de datos.	135
Figura A6.3. Codificador Convolutivo 1/2.	136
Figura A6.4. Constelaciones de las diferentes modulaciones soportadas y su respectivo factor de normalización c.	139
Figura A6.5. Estructura del preámbulo del Downlink y entrada a la red.	140
Figura A6.6. Estructura del preámbulo del Uplink	141
Figura A6.7. Formato de una TC PDU.	142
Figura A6.8. Transmisor y receptor OFDM con STC.	143

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Parámetros de tráfico QoS asociados a los servicios de planificación.	32
Tabla 2. Perfiles de Ráfaga	39
Tabla 3. Bandas de frecuencia disponibles para una posible implementación.	61
Tabla 4. Tipos de terreno	63
Tabla 5. Modelos SUI clasificados por tipo de terreno.....	65
Tabla 6. Modelos SUI clasificados por sus características de propagación.....	65
Tabla 7. Configuración de estaciones base de 4 y 6 sectores.....	67
Tabla 8. Planes para prestar servicios de banda ancha.....	70
Tabla 9. Capacidad neta de un sector para un canal de 1.75 MHz (Mbps).....	76
Tabla 10. Capacidad neta de un sector para un canal de 3.5 MHz (Mbps).....	76
Tabla 11. Mensajes de prueba para la medición de sensibilidad y BER [1].	81
Tabla 12. Ponderación de las Pruebas.....	96
Tabla 13. Matriz de evaluación/puntuación del protocolo de pruebas.....	97
Tabla A1.1. Características técnicas de los elementos WiMAX.	104
Tabla A1.2. Características del sistema de gestión.	109
Tabla A2.1. Requerimientos básicos [1].	110
Tabla A2.2. Requerimientos mínimos para la recepción [1].	111
Tabla A3.1. Tabla de recopilación de datos para la evaluación de capacidades del sistema por sitio.	112
Tabla A3.2. Tabla de datos de las tasas de transmisión de datos del sistema según la distancia.....	113
Tabla A3.3. Tabla de recopilación de datos para prueba de sostenimiento de CIR y MIR.....	114
Tabla A3.4. Tabla de recopilación de datos para prueba de medición de retardo extremo-extremo.	115
Tabla A3.5. Evaluación de sistema de gestión.....	116

Tabla A3.6. Cuestionario de pruebas de instalación y configuración de equipos terminales in-door.	118
Tabla A3.7. Tabla de evaluación de aplicaciones en Internet.....	119
Tabla A3.8. Tabla de recopilación de datos para pruebas de calidad de voz para el servicio de telefonía.	119
Tabla A6.1. Código convolucional con configuración de perforación.	137
Tabla A6.2. Codificación obligatoria del canal por modulación.	137
Tabla A6.3. Tamaños de bloques del Bit Interleaving.....	138
Tabla A7.1. Comparación de WiMAX con otras tecnologías inalámbricas.	144

ACRÓNIMOS

1X-EV-DO	evolution data optimized
3-DES	triple data encryption standard
AAA	authentication, authorization y accounting.
AAS	adaptive antenna system
AES	advance encryption standard
AK	authorization key
ARQ	automatic repeat request
ATM	asynchronous transfer mode
BE	best effort
BER	bit error rate
BPSK	binary phase shift keying
BS	base station
BW	bandwidth
BWA	broadband wireless access
CDMA	code division multiple access
C/I	carrier-to-interference ratio
C/N	carrier-to-noise ratio
CID	connection identifier
CINR	carrier-to-interference-and-noise ratio
CIR	committed information descriptor
CONATEL	comisión nacional de telecomunicaciones
CP	cyclic prefix
CPE	costumer premise client
CPS	common part sub layer

CRC	cyclic redundancy check
CS	convergence sublayer
DAMA	demand assigned multiple access
DBPC	downlink burst profile change
DCD	downlink channel descriptor
DES	data encryption standard
DHCP	dynamic host configuration protocol
DIUC	downlink interval usage code
DL	downlink
DLFP	downlink frame prefix
DSA	dynamic service addition
DSC	dynamic service change
DSD	dynamic service deletion
DSL	digital subscriber line
DSLAM	digital subscriber line access multiplexer
EC	encryption control
EKS	encryption key sequence
FCH	frame control header
FDD	frequency division duplex or duplexing
FEC	forward error correction
FFT	fast fourier transform
FTP	file transfer protocol
GPS	global positioning system
HCS	header check sequence
HEC	header error check
H-FDD	half-duplex frequency division duplex
HT	header type
HSDPA	High Speed Downlink Packet Access

I	inphase
IE	information element
IEEE	institute of electrical and electronics engineers
IETF	internet engineering task force
IFFT	inverse fast fourier transform
IP	internet protocol
ISP	internet service provider
ITU	international telecommunications union
IWF	interworking function
LAN	local area network
LMDS	local multipoint distribution service
LOS	line-of-sight
LSB	least significant bit
MAC	medium access control layer
MAN	metropolitan area network
MBWA	mobile broadband wireless access
MIB	management information base
MIMO	multiple-input multiple-output
MIR	maximum information rate
MMDS	multichannel multipoint distribution service
MPEG	moving pictures experts group
MPLS	multi-protocol label switching
MSB	most significant bit
MTBF	mean time between failures
MTBR	mean time between repairs
NAT	network address translation
NLOS	non-line-of-sight

Near-LOS	near line of sight
NNI	network-to-network interface (or network node interface)
nrtPS	non-real-time polling service
OFDM	orthogonal frequency division multiplexing
OFDMA	orthogonal frequency division multiple access
OLOS	optical line of sight
PDH	plesiochronous digital hierarchy
PDU	protocol data unit
PHS	payload header suppression
PHSF	payload header suppression field
PHSI	payload header suppression index
PHSM	payload header suppression mask
PHSS	payload header suppression size
PHSV	payload header suppression valid
PHY	physical layer
PKM	privacy key management
PM	poll-me bit
PMP	point-to-multipoint
PPP	point-to-point protocol
PRBS	pseudo-random binary sequence
PS	physical slot
PSTN	public switched telephone network
PTI	payload type indicator
PtP	point to point
PVC	permanent virtual circuit
Q	quadrature
QAM	quadrature amplitude modulation
QoS	quality of service

QPSK	quadrature phase-shift keying
RCE	relative constellation error
REQ	request
RNG	ranging
RS	Reed–Solomon
RSA	algoritmo de cifrado de llaves publicas
RSP	response
RSS	receive signal strength
RSSI	receive signal strength indicator
RTG	receive/transmit transition gap
RTP	real time protocol
rtPS	real-time polling service
Rx	receiver
SA	security association
SAID	security association identifier
SAP	service access point
SBC	subscriber station basic capability
SC	single carrier
SDH	synchronous digital hierarchy
SDU	service data unit
SF	service flow
SFID	service flow identifier
SIMcard	subscriber identity module card
SIMO	single-input multiple-output
SIP	session initiation protocol
SLA	service level agreement
SNMP	simple network management protocol
SNR	signal-to-noise ratio

SS	subscriber station
SSTG	subscriber station transition gap
STC	space time coding
SVC	switched virtual circuit
TC	transmission convergence sub layer
TCP	transmission control protocol
TDD	time division duplex or duplexing
TDM	time division multiplexing
TDMA	time division multiple access
TEK	traffic encryption key
TFTP	trivial file transfer protocol
TTG	transmit/receive transition gap
Tx	transmitter
UCD	uplink channel descriptor
UDP	user datagram protocol
UGS	unsolicited grant service
UIUC	uplink interval usage code
UL	uplink
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
UNI	user-to-network interface or user-network interface
VC	virtual channel
VCI	virtual channel identifier
VLAN	virtual local area network
VP	virtual path
VPI	virtual path identifier
VPN	virtual private network
VSA	vector signal analyzer
WLL	wireless local loop

WiMAX	worldwide interoperability for microwave accesses
WirelessMAN	wireless metropolitan area networks
WLAN	wireless local area network

INTRODUCCIÓN

Hoy en día, la disponibilidad de poder implementar una red de banda ancha en la última milla está limitada por las tecnologías cableadas como DSL o Cable Modem, las cuales demandan grandes inversiones para su implantación, lo cual hace muy difícil poder competir como nuevo operador de servicios de banda ancha en un mercado donde existen operadores que tienen ya redes de banda ancha establecidas y operando.

En junio del 2001 se reunieron un conjunto de fabricantes con el fin de poder crear una tecnología de red de área metropolitana (MAN: *Metropolitan Area Network*) que pudiera ofrecer banda ancha con acceso inalámbrico y que cuya tecnología fuera estandarizada e ínter operable entre diversos fabricantes. De esta manera nace la tecnología WiMAX.

WiMAX es una tecnología de última milla que establece conexiones punto multipunto a grandes distancias manteniendo la capacidad efectiva del canal y permitiendo así tener una red inalámbrica que ofrece grandes anchos de banda a múltiples usuarios que estén ubicados en recintos donde no necesariamente existe línea de vista con la estación base.

WiMAX está basado en el estándar de la IEEE 802.16-2004 el cual cuenta con especificaciones para una interfaz de acceso fijo, nómada y a futuro portátil y móvil. Estas especificaciones están enfocadas en la capa de acceso y capa física del modelo OSI. El estándar presenta aspectos como calidad de servicio a nivel de capa de acceso, esquemas múltiples de modulación digital y codificación, los cuales son conocidos como perfiles de ráfaga, protocolos de seguridad de llaves privadas y las interfaces de red de área metropolitana con modulación OFDM (WirelessMAN-

OFDM). Además de estas ventajas se presentan especificaciones de diversidad espacio-tiempo y sistemas de antenas adaptativas.

Por tales razones Movistar Venezuela como operador de telecomunicaciones con la intención de entrar como una nueva opción en el mercado de banda ancha en la última milla en Venezuela, desea adquirir soluciones basadas en la tecnología WiMAX. Para esto se hace de la necesidad de diseñar un protocolo de pruebas que sirva de instrumento para poder seleccionar una o varias soluciones que más se adapten a las condiciones de propagación, situación geográfica y sectores de la población en Venezuela.

CAPITULO I

DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA

1.1. Nombre de la Empresa.

Razón Social: Telcel C.A.

Nombre comercial: Movistar Venezuela.

1.2. Descripción.

Movistar Venezuela forma parte de la mayor comunidad de telefonía móvil de habla hispana y portuguesa. Es la operadora filial de Telefónica Móviles que lidera el mercado venezolano con un 48% de participación. Sus clientes totales superan los 4,5 millones y posee una posición de vanguardia en el lanzamiento de los productos y servicios más innovadores en la telefonía móvil de Venezuela.

Movistar cuenta con una red completamente digital de más de 3.500 kilómetros, compuesta por sistemas de microondas, fibra óptica, cable Panamericano, del cual son socios, y una estación terrena de acceso satelital.

Finalmente tiene respaldo, solidez, prestigio y experiencia internacional del Grupo Telefónica, que se destaca por entregar productos y soluciones vanguardistas de alta calidad, para facilitar el día a día de sus usuarios, además de estar comprometidos con el desarrollo económico y social del país, lo que la ubica en una alta posición competitiva.

1.3. Movistar Venezuela y WiMAX.

El interés de Movistar Venezuela de poder expandir su red de acceso a la última milla para tener una mayor participación en el mercado de servicios de banda ancha a llevado a una búsqueda de tecnologías que permitan lograr una rápida implantación y retorno rápido de inversión en un mercado ya ocupado firmemente por otras operadoras. Estas tecnologías debieron cumplir con tres premisas: lograr tener una gran capacidad efectiva en una cobertura considerable, operar sin línea de vista y no ser propietarias.

Una tecnología que cumple de manera cabal con esas premisas es WiMAX. Esta tecnología ha estado en desarrollo desde 2001, y finalmente en el 2004 fue publicado el estándar definitivo lo cual llevó al interés de muchos fabricantes que vieron en esta tecnología el futuro de las telecomunicaciones de acceso de última milla del resto de la década.

Este interés llevó a Movistar Venezuela a desarrollar proyectos para la implantación de una red WiMAX en la banda de 3.5GHz, la cual esté enfocada en la utilización de equipos terminales de uso interno auto-instalables. De esta manera se logra ahorrar costos de planta externa presentes en las soluciones de banda ancha inalámbrica actuales como por ejemplo lazo local inalámbrico (WLL: *Wireless Local Loop*).

CAPITULO II

DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

2.1. Planteamiento del Problema.

Las tecnologías inalámbricas han tenido un desarrollo importante a principios de este siglo con la finalidad de dar comodidad y acceso de Internet sobre banda ancha a sectores en donde no resulta viable dar este servicio por cableado terrestre.

En tal sentido, han surgido muchas tecnologías inalámbricas de banda ancha como por ejemplo: Bluetooth que permite la conexión de periféricos y dispositivos móviles entre si y a las PC, tecnologías de tercera generación móvil celular como CDMA2000/1xEV-DO que actualmente ofrecen 2 Mbps por canal de datos y WCDMA/UMTS que ofrece 2Mbps actualmente y con HSDPA que ofrecerá 14 Mbps [11], LDMS la cual opera a distancias no mayores de 10 km con línea de vista, y ancho de banda de hasta 30 Mbps, MMDS que es una mejora de LDMS y es la primera que da servicio de conexiones punto-multipunto con abarque de hasta 50 km también conocida como “el cable inalámbrico” con un ancho de banda de hasta 3 Mbps, y en estos últimos años Wi-Fi conocida como la LAN inalámbrica la cual a tenido mucho auge para dar servicio de Internet de banda ancha en lugares públicos y privados.

WiMAX es la ultima tecnología que se presenta en el mercado de las redes inalámbricas metropolitanas (MAN), como una evolución de las redes Wi-Fi, con la mejora de tener mayor alcance, mayor ancho de banda y tener una implementación muy económica comparada con soluciones para redes MAN cableadas.

Por tal razón existe la necesidad por parte de Movistar de contar con un instrumento de toma de decisiones antes de que se certifiquen las soluciones basadas en el estándar IEEE 802.16-2004 a finales del 2005. Para esto nada mejor que un protocolo de pruebas que permita evaluar los aspectos más importantes que caracterizan a la tecnología WiMAX, para de esta manera poder seleccionar los productos y proveedores idóneos para implantar esta tecnología en el mercado venezolano.

2.2. Objetivo General

Diseñar un protocolo de pruebas que permita la evaluación técnica de las futuras soluciones basadas en la tecnología WiMAX a fin de contribuir con la selección técnica de productos y proveedores para Movistar.

2.2.1. Objetivos Específicos:

- Estudiar y documentar los estándares y recomendaciones involucrados en la tecnología WiMAX y las particulares implantaciones de los mismos por parte de los principales proveedores del mercado
- Identificar los aspectos técnicos claves para la posterior evaluación de los diferentes productos WiMAX que se ofrecerán a Movistar
- Identificar los sectores de la población potenciales a ser atendidos a través de la tecnología WiMAX.
- Diseñar y documentar en un manual, el protocolo de pruebas que incluya los aspectos previamente definidos, y una metodología para ser utilizada al momento de evaluar cada propuesta.
- Establecer una matriz de puntuación para cada aspecto a considerar en base a la importancia que tenga para el desempeño de la tecnología y su aplicabilidad en los sectores a ser atendido por esta.

2.3. Metodología.

La metodología a utilizar para llevar a cabo los objetivos consta de las siguientes fases:

1. Fase de documentación
2. Fase de identificación de aspectos técnicos de los protocolos y recomendaciones involucradas en la tecnología.
3. Fase de identificación de aspectos técnicos del hardware.
4. Fase de estudio de interconexión de WiMAX con el núcleo de la red.
5. Fase de estudio de las bandas espectrales de operación de la tecnología.
6. Fase de identificación de los sectores en donde se implementara la tecnología.
7. Fase de selección de aspectos a ser probados.
8. Fase de realización del manual de protocolo de pruebas.
9. Fase de diseño de Matriz de puntuación.

2.4. Limitaciones.

La información recopilada para la realización de este trabajo se basó sólo en el estándar IEEE 802.16-2004, documentos informativos y en los catálogos proporcionados por los fabricantes en presentaciones realizadas en las instalaciones de Movistar Venezuela. No se pudo contar con información mas completa de los fabricantes debido a que no se pudo realizar solicitud de información (RFI) ya que la intención final de Telefónica Movistar es realizar esta solicitud para toda la región de Latinoamérica, donde este trabajo servirá de aporte para la misma. Tampoco se cuenta en la actualidad con equipos analizadores de protocolos IEEE 802.16-2004, ya que estos serán diseñados a partir de las pruebas de certificación.

CAPITULO III

TECNOLIGÍA WiMAX.

3.1. WiMAX.

WiMAX (*Worldwide Interoperability for Microwave Access*) es un estándar de transmisión inalámbrica de datos basado en la topología de redes de área metropolitana (MAN: *Metropolitan Area Network*) punto multipunto (PMP: *Point to multipoint*) apoyadas en una red de transporte inalámbrica punto a punto (PTP: *Point to point*) o vía fibra óptica, que proveen alta capacidad de procesamiento de conexiones de banda ancha sobre largas distancias y sin línea de vista.

El objetivo principal de WiMAX consiste en lograr la interoperabilidad mundial de todos los equipos basados en la familia de estándares IEEE 802.16x y ETSI HIPERMAN para Europa, los cuales norman las aplicaciones de acceso de banda ancha inalámbricas para usuarios fijos y nómadas, especificando capacidades de control de acceso al medio (MAC: *Medium Access Control Layer*) e interfaz física WirelessMAN-OFDM y WirelessMAN-OFDMA¹ para aplicaciones de movilidad. WiMAX es capaz de proporcionar enlaces de hasta 48 km con línea de vista (LOS: *Line of Sight*) y hasta 3 km sin línea de vista (NLOS: *Non-Line of Sight*), con ancho de banda máximo de 70 Mbps sobre aire con una eficiencia espectral de hasta 5bps/Hz en sub-canales de 1.25 a 20 MHz. WiMAX también es una tecnología que ofrece soporte a redes WLAN (Hot spot) basada en IEEE 802.11x muy utilizadas en aeropuertos, restaurantes, hoteles, etc.

¹ Interfaces inalámbricas de red área metropolitana OFDM y OFDMA (*Orthogonal Frequency Division Multiple Access*).

El alcance de WiMAX es proveer acceso fijo, nómada y móvil de banda ancha. Para esto, el IEEE compiló todas las versiones anteriores del estándar 802.16 en la versión 802.16-2004, donde se especifica a las redes WiMAX como un segmento del mercado de acceso fijo de banda ancha inalámbrica que opera tanto para bandas superiores y menores a 10 GHz. Además de las especificaciones incluidas en IEEE 802.16-2004 se esperan las enmiendas 802.16e la cual permitirá la movilidad para bandas por debajo de 6 GHz, la 802.16g el cual estipulará las interfaces y la interconexión de WiMAX con otras redes, y la 802.16f que propone la gestión a nivel de capa de red con la definición de bases de información de gestión (MIB: *Management Information Base*).

3.2. WiMAX Forum.

El *WiMAX Forum*¹ es una organización no lucrativa liderada por la industria, formada para ayudar a promover y certificar la interoperabilidad de los productos de banda ancha inalámbrica basada en el estándar IEEE 802.16-2004 y en sus futuras versiones. La meta del foro es acelerar el despliegue global y el crecimiento del mercado de soluciones de acceso inalámbrico de banda ancha (BWA: *Broadband Wireless Access*) basadas en estándares y asegurando su interoperabilidad, permitiendo lograr una economía de escala y dando como resultado costos y niveles de funcionamiento inalcanzables por soluciones propietarias, beneficiando al usuario final. La reducción del costo de los equipos y la escalabilidad de la red también mejoran ampliamente el modelo de negocio para los proveedores de servicio.

El *WiMAX Forum CERTIFIED*¹ es la certificación de los equipos WiMAX, la cual está diseñada para ser configurable para un rango de panoramas de despliegue de acceso inalámbrico de banda ancha. Estos escenarios incluyen la posibilidad de

¹ Derechos reservados por WiMAX Forum™

largas distancias (hasta 50 km) con baja densidad de suscriptores en condiciones de línea de vista (LOS), y despliegues más cortos con NLOS en ambientes urbanos densos. Los servicios pueden ser fijos, nómadas, móviles, o una combinación de estos. Sobre esta gama de condiciones la característica común es la capacidad para entregar confiablemente conectividad de banda ancha a usuarios residenciales y comerciales [2].

3.3. Interoperabilidad.

Como indica sus siglas, WiMAX es un estándar que busca la interoperabilidad y compatibilidad mundial de equipos de diversos fabricantes. Para esto el WiMAX forum se apoya en el estándar IEEE 802.16-2004 el cual estipula todos los requerimientos para redes MAN. El WiMAX forum ha creado la figura de la certificación para formalizar este compromiso entre los equipos que estarán en el mercado de soluciones de acceso inalámbrico de banda ancha.

Los fabricantes deben diseñar equipos que cumplan con topologías PMP, soporte de capa MAC y capa física (PHY: *Physical layer*), asegurar calidad de servicio (QoS: *Quality of Service*) y niveles de tasa de bits errados (BER: *Bit Error Rate*) deseables por medio de mecanismos de codificación y reenvío de paquetes.

El estándar IEEE 802.16-2004 soporta un mecanismo de credenciales, el cual permite agregar un campo identificador de fabricante en donde se especifica las características básicas de los equipos CPE (Customer Premises Equipment). Este asigna un identificador único a cada equipo el cual lo diferencia en cualquier red WiMAX.

Uno de los miembros del WiMAX forum impulsores de la interoperabilidad es el fabricante de chips Intel, el cual ha presentado la propuesta de un integrado con capacidades IEEE 802.16-2004. Esto ofrecerá interoperabilidad

entre estaciones bases y equipos CPE, buscando con esto una forma de generar economía de escala que baje los costos. Todas las primeras unidades CPE WiMAX que saldrán al mercado contarán con chips Intel Pro/Wireless, aunque también se han presentado propuestas de parte de Fujitsu y WaveSat. Esto permitirá evitar un monopolio en la fabricación de chips para WiMAX creando una competencia que disminuirá los costos.

3.4. Soluciones WiMAX.

Las soluciones WiMAX se presentan como la respuesta a la necesidad de la puesta en marcha de redes inalámbricas de banda ancha por los fabricantes miembros del WiMAX forum. Estas soluciones son un conjunto de elementos que permiten la implementación y operación de redes inalámbricas de la mejor manera posible y con el menor costo tanto de instalación como de mantenimiento.

Todas estas soluciones son basadas en el estándar IEEE 802.16-2004. Las primeras se están desarrollando para funcionar como redes punto a multipunto (PMP) con acceso fijo o nómada, las cuales enlazan con la red de transporte por medio de una red backhaul PTP¹ o backbone vía fibra óptica² según sea el requerimiento de ancho de banda y la situación geográfica. Cuentan con capacidades de capa física OFDM de 256 portadoras³ con la opción de actualizarse a Acceso por Múltiple División de Frecuencias Ortogonales (OFDMA) de hasta 2048 portadoras, modulación adaptativa, capacidad de transmisión por diversidad espacio-tiempo, sistemas de antenas adaptativas (AAS: *Adaptive Antenna System*), métodos de duplexing por tiempo (TDD: *Time Division Duplexing*) y por frecuencia (FDD: *Frequency Division Duplexing*), etc.

¹ Red de transporte conformada por enlaces inalámbricos punto a punto.

² Red troncal que cursa el tráfico de otros dispositivos o redes menores conformada de enlaces de fibra óptica.

³ Mas información en el capítulo 4, punto 4.1.

Todas las soluciones ofrecen interconexión tanto operativa como física, con tecnologías como ATM (*Asynchronous Transferir Mode*), IP, Ethernet, Wi-Fi (IEEE 802.11x), y TDM (Time Division Multiplexing) con interfaces E1/T1. También converge con redes Virtuales VLAN IEEE 802.1Q y especificaciones de niveles prioridad de trafico IEEE 802.1p. Además permiten la transmisión y gestión de paquetes de voz (VoIP). Muchas soluciones ofrecen actualización a nivel de software para trabajar con el estándar IEEE 802.16e el cual funciona con modulación OFDMA y permite la movilidad de los usuarios. En la figura 1 se muestra un esquema demostrativo de una solución WiMAX

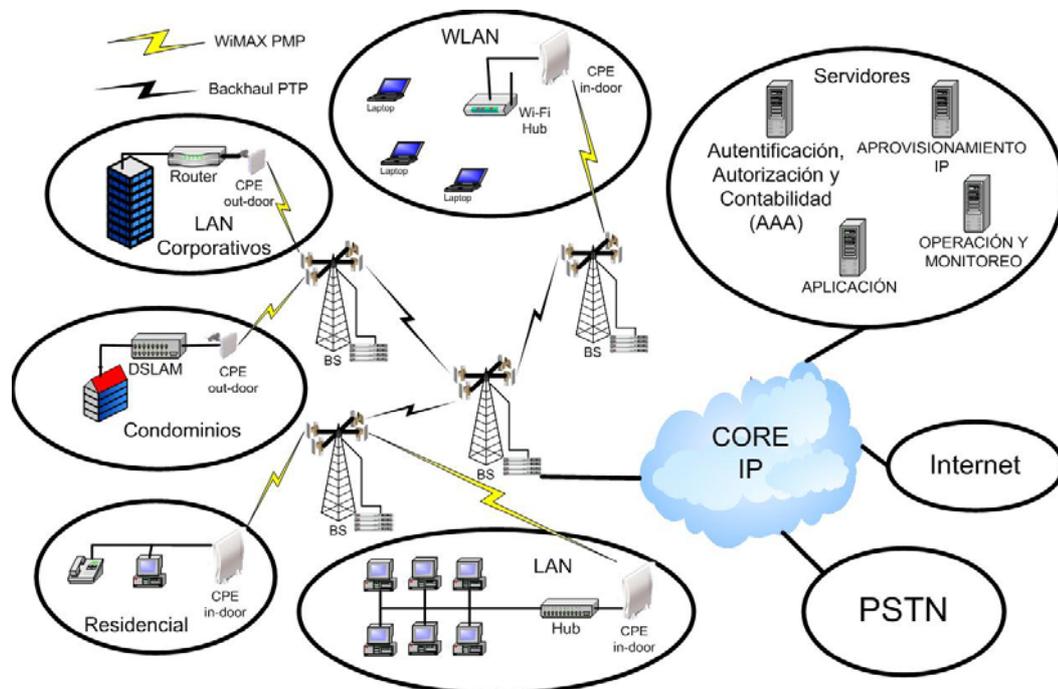


Figura 1. Esquema de una solución WiMAX.

Como se puede ver en el esquema estas soluciones están conformadas por cuatro elementos primordiales los cuales son: las estaciones base (BS, *Base Station*), los equipos de subscriptor (CPE), Backhaul y el software gestión y monitoreo.

3.4.1. Elementos que conforman una solución WiMAX.

Estación Base (BS): Esta conformada por equipos indoor y equipos outdoor. La consola indoor está diseñada para trabajar en recintos cerrados que cuenten con ciertas especificaciones ambientales. Se encargan del procesamiento de la señal a nivel de capa física, realizan las funciones de gestión de acceso. Estos se conectan con el núcleo de la red por enlaces PTP backhaul o backbone vía fibra óptica, en donde enlazan con servidores IP, servidores de autenticación y facturación, con centrales de gestión y monitoreo de la red, la PSTN, operadores ISP y servidores de aplicación.

Los equipos outdoor esta conformados por la antena y el transceptor (*transceiver*). Estos son la interfaz física de aire de la estación base. La antena es el elemento radiante de la BS, cada antena radia en sectores con una apertura determinada, las cuales están dispuestas en arreglos de 1 a 6 sectores. La antena esta acompañada de un equipo transceptor que eleva la señal de banda base a la frecuencia de operación. Las antenas pueden ser adaptativas permitiendo guiar la potencia al CPE en operación. Estas antenas cumplen con todas las normas de operación en condiciones ambientales adversas y son de fácil instalación.

Equipo del cliente o suscriptor (CPE): son los que enlazan a los usuarios finales con la red WiMAX. Constan de una antena, radio, y procesador que se encarga de funciones de gestión y procesamiento de señal. Los equipos CPE son presentados en diversas configuraciones:

- De instalación interna (indoor): son equipos de escritorio de fácil instalación (auto-instalación) que vienen con antenas fijas o separadas para colocar cerca

de ventanas. Estos trabajan totalmente en transmisión NLOS y operan a no más de 1.4 Km¹ de las estaciones base en el mejor de los casos.

- De instalación externa (outdoor): son equipos que necesitan de ayuda técnica para ser instalados. Vienen con una antena para uso externo que va conectada a un equipo de mesa en el caso de ser una casa, un enrutador (*router*) o un multiplexor de abonados digitales DSLAM (*Digital Subscriber Line Access Multiplexer*) en el caso de ser un edificio con múltiples suscriptores. Tienen la ventaja de utilizarse cuando los suscriptores están más allá de 1.4 Km de la estación base permitiendo enlaces de línea de vista. Además estos equipos no son afectados por las pérdidas propias de recintos cerrados, permitiendo también enlaces NLOS de asta 3 Km.

Los CPE cuentan también con funciones adicionales como la integración de un concentrador Ethernet o Wi-Fi, puertos para conexiones VoIP y telefonía convencional, y la opción de un lector de tarjetas de identificación de usuarios (SIMcard: *Subscriber Identity Module Card*) para almacenar datos de usuario que habiliten la auto-configuración y autenticación de las redes WiMAX en caso de ser un usuario nómada.

Backhaul: Es la red de transporte que soporta a WiMAX. Los fabricantes ofrecen equipos similares a las estaciones bases, que se encargan de llevar el tráfico de la red. Las capacidades son las mismas de las estaciones bases con la diferencia que los enlaces son PTP a máxima capacidad. Trabajan también con modulación OFDM y tienen todos los requerimientos del estándar 802.16-2004.

¹ Rango maximo indicado por el estudio de cobertura realizado por el WiMAX Forum para equipos indoor auto-instalables en zonas rurales [9].

Software de gestión: es un software de gestión central basado en una arquitectura cliente/servidor el cual soporta el protocolo de gestión simple de red (SNMP), Telnet, FTP, etc. Tiene como función el control de tráfico, configuración y monitoreo de red, así como llevar una base de datos donde se almacenen registros de configuración, estadísticas e historial de alarmas provenientes de la red. Además permite al operador realizar diagnóstico de cada elemento de la red.

3.5. Estándar IEEE 802.16-2004.

En este estándar se especifica el modelo de referencia, características, y parámetros necesarios para la correcta implementación y gestión. También se especifica la convergencia con otros estándares. Este emerge de los estándares de interfaz de aire para el acceso inalámbrico de banda ancha fijo, portátil, y móvil combinado (MBWA: *Mobile Broadband Wireless Access*). Concebido inicialmente como un estándar de radio para permitir la conectividad rentable de banda ancha en la última milla a los sectores que no cuentan con servicios de banda ancha por cableado terrestre. Estas especificaciones están en constante desarrollo para apuntar a un mercado de banda ancha móvil.

Este estándar especifica la operación en diversas bandas de frecuencia. La banda de 10-66 GHz, la cual por su característica de propagación de onda corta necesita de enlaces con línea de vista haciéndola optima para aplicaciones PTP ó bandas por debajo de 11 GHz, las cuales por su naturaleza de onda larga permiten enlaces sin línea de vista, requieren funcionalidades adicionales a nivel de capa física y características en el control de acceso al medio. Las bandas propuestas son las licenciadas de 2.5GHz y 3.5Ghz y la banda de 5.8Ghz para uso libre¹.

¹ IEEE 802.16-2004 (Anexo B) [1].

3.5.1. Modelo de referencia.

La figura 2 ilustra el modelo de referencia del estándar. La capa MAC abarca tres sub-capas. La sub-capas de convergencia de especificación de servicios (CS: *Convergente Sublayer*) que proporciona cualquier transformación o mapeo de los datos externos a la red, que son recibidos a través del punto de acceso de servicio (CS SAP: *Service Access Point*), recibiendo a su vez unidades de datos de servicio (MAC SDU: *Service Data Unit*) provenientes de la sub-capas de parte común (MAC CPS: *Common Part Sublayer*) a través de la MAC SAP.

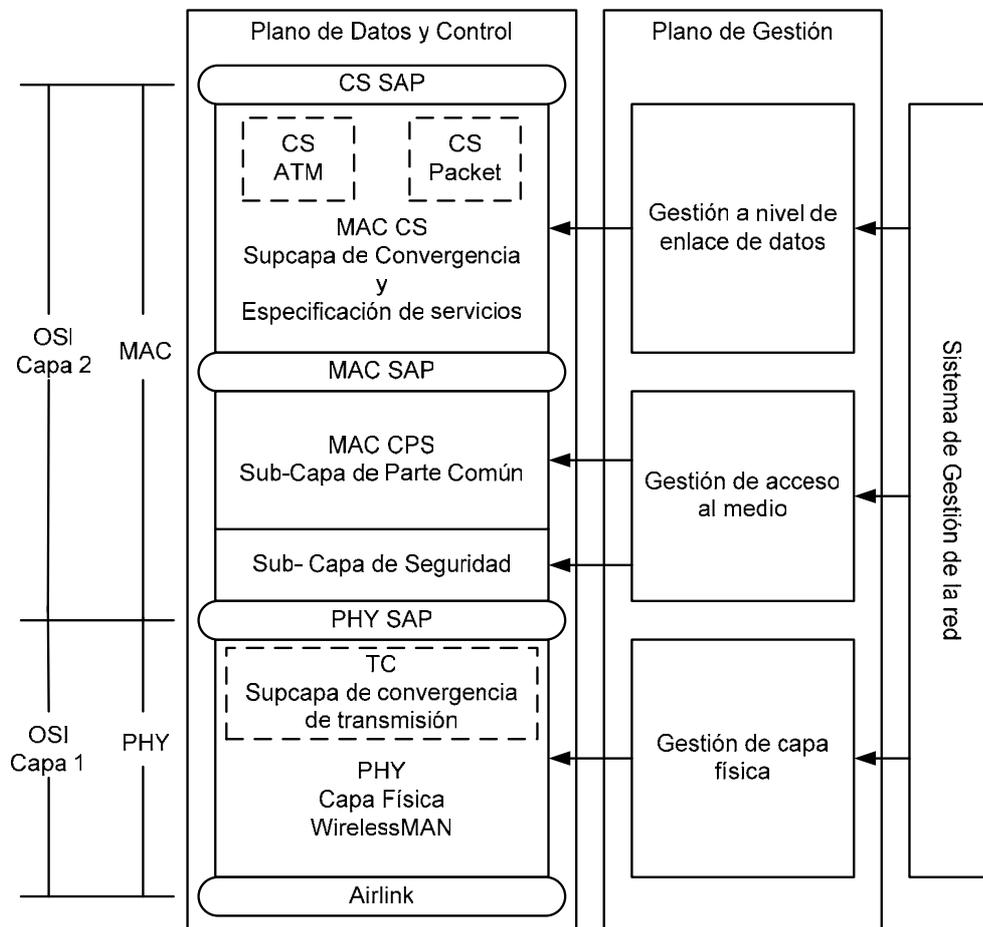


Figura 2. Disposición en capas y los puntos de acceso de servicio (SAP).

La sub-capa MAC CPS proporciona la funcionalidad de acceso al sistema del núcleo MAC, donde se realiza la asignación de ancho de banda, y el establecimiento y mantenimiento de la conexión. Recibe datos de varias sub-capas CSs, a través del MAC SAP, y planifica las conexiones particulares de capa MAC. Además aplica funciones de QoS y crea las unidades de datos (PDU: *Protocol Data Unit*) que serán enviadas a la capa física a través de la PHY SAP. La sub-capa de parte común MAC también contiene una sub-capa separada de seguridad que proporciona la autenticación, el intercambio de llaves de seguridad, y el cifrado.

La definición de la capa física PHY incluye especificaciones múltiples, apropiadas a cada gama de frecuencia en particular y a su uso. En ella se especifica las interfaces de portadora simple para aplicaciones sobre los 10 GHz (SC: *Single Carrier*) y para aplicaciones por debajo de 11 GHz (SCa), OFDM y OFDMA. Estas especificaciones definen el tipo de modulación, los esquemas de codificación, métodos de duplexing y control de potencia. Además define un sistema de antenas adaptativas y diversidad espacio tiempo.

CAPITULO IV

ESPECIFICACIONES DE CAPA DE CONTROL DE ACCESO AL MEDIO (MAC), IEEE 802.16-2004.

La capa MAC realiza el control de acceso al medio con la función de proveer una interfaz independiente del medio a la capa física debido a que esta es una capa de acceso inalámbrico. La principal función de la capa MAC es la de gestionar de una manera eficiente, los recursos de los enlaces en el aire. Los protocolos de la capa MAC están diseñados para soportar las topologías punto multipunto y distribuida entre estaciones suscriptoras (SS: *Subscriber Station*). La capa MAC está orientada a la conexión.

Para la entrada a la red, cada estación suscriptora (SS: *Subscriber Station*) crea una o más conexiones que transmiten sus datos hacia y desde la estación base (BS: *Base Station*). La capa MAC programa el uso de los recursos del enlace aéreo y proporciona diferenciación de calidad de servicio (QoS). Realiza la adaptación del enlace y las funciones de petición de repetición automática (ARQ: *Automatic Repeat Request*)¹ para mantener la tasa de error de bit (BER) en un valor deseado, mientras que maximiza la capacidad efectiva. También maneja el acceso a la red de las estaciones base, y realiza tareas estandarizadas de creación de unidades de datos de protocolo (PDU). Además proporciona una sub-capa de convergencia que ofrece soporte de celdas ATM y redes basadas en paquetes. Finalmente cuenta con una sub-capa de seguridad, que se encarga del cifrado de datos y el intercambio de llaves.

La capa MAC define la plataforma PMP, la cual es centralizada. Las BSs se conectan por difusión y en algunos casos por multicast a las SSs. El enlace opera con

¹ ARQ se describe en el anexo N° 5, punto 5.1.

una BS central y un arreglo de antenas que es capaz de manejar sectores independientes en múltiples direcciones simultáneamente, operando en una banda específica en donde todas las SSs en el sentido del Downlink captarán la misma transmisión o partes de esta. Las SSs solo admitirán las PDU identificadas con la conexión dirigida a ellas. En el sentido del Uplink, las SSs iniciarán enviando peticiones de ancho de banda mediante el uso de un mecanismo de contención para evitar colisiones basadas en un algoritmo de retardo exponencial binario truncado¹.

4.1. Sub-capa de convergencia de especificación de servicios (CS).

La Sub-capa de convergencia de especificación de servicios reside encima de la sub-capa de parte común MAC CPS y es utilizada para proveer servicios a la MAC CPS a través de la MAC SAP. La CS tiene como función recibir y clasificar las PDU de capa superior, asociar estas al identificador de conexión (CID: *Connection Identifier*) y en caso de soportar un nivel QoS asociarlo a un flujo del servicio del MAC². La sub-capa CS también asiste la señalización propia de las PDU de capas superiores y realiza la función de supresión de cabecera (PHS: *Payload Header Suppression*)³ en caso de ser solicitado por los servicios de capa superior. La CS proporciona varias especificaciones para interconectar con varios protocolos y estándares gracias a sus dos sub-capas: la primera es para recibir celdas ATM, llamada ATM CS² y la segunda es para recibir datos de redes basadas en paquetes, llamada Packet CS. El formato interno de la carga útil de las unidades de datos CS es único de sí misma, es decir, la sub-capa MAC CPS no requiere entender el formato o analizar ninguna información de la carga útil de las unidades de datos de la sub-capa CS.

¹ Ver anexo N°5, punto 5.3.

² Un flujo de servicio es un servicio unidireccional de transporte de paquetes con una QoS asociada.

³ Para saber más sobre la sub-capa ATM CS y la supresión de cabeceras PHS, ver anexo N° 4.

4.1.1. Packet CS

Esta sub-capa se encarga de recibir las PDUs provenientes de redes basadas en paquetes tales como IP, PPP, IEEE 802.3 Ethernet, IEEE 802.1q (VLAN) y IEEE 802.11x (Wi-Fi). La sub-capa Packet CS construye y reparte las CS SDU a las MAC SAP apropiadas, clasificando y asociando los paquetes a un flujo de servicio particular. De esta forma se establecen criterios de QoS a los paquetes dentro de la red IEEE 802.16-2004. También realiza funciones de supresión de cabeceras si es necesario.

El formato de la MAC SDU para la sub-capa Packet CS se muestra en la figura 3. Una vez que un paquete PDU de capa superior es clasificado y asociado con un flujo de servicio y una conexión, este es encapsulado en una MAC SDU junto con una cabecera de índice de supresión de cabecera (PHSI), la cual se presenta cuando una regla de supresión de cabecera que es definida por una conexión asociada¹. Cuando PHSI es distinto de 0 indica que el PHS está habilitado.

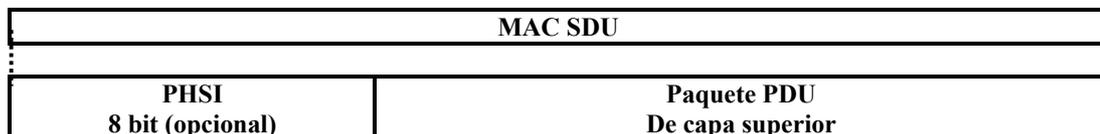


Figura 3. Formato de la MAC SDU.

4.1.1.1. Clasificación.

A diferencia de las redes ATM que tienen especificaciones de QoS a nivel de capa 2, las redes basadas en paquetes carecen de esta, es por esto que la sub-capa Packet CS realiza la función de clasificar los paquetes según el tipo de servicio

¹ La regla de supresión de cabecera define las mascararas de supresión, el tamaño y el tipo de cabecera suprimida.

asociado a la conexión. El clasificador de la sub-capa Packet CS aplica una serie de criterios de mapeo de paquetes de protocolos específicos, donde clasifica según la prioridad de transmisión de cada servicio (ejemplo TDM, Video, Voz, etc), para después asociar estos paquetes con un flujo de servicio identificado con un (SFID: *Service Flow Identifier*). Este flujo de servicio proporcionará todas las especificaciones de QoS para el envío de estos paquetes. A su vez este flujo de servicio será mapeado por una conexión de transporte particular identificado por un CID a través de la MAC SAP apropiada.

Esta función es necesaria para ordenar los paquetes según su prioridad en la red IEEE 802.16-2004, para de esta manera evitar que los paquetes asociados a diferentes servicios sean llevados en la misma conexión. Los elementos de la red tendrán cada uno un clasificador particular, la BS tendrá el clasificador del Downlink y la SS tendrá el clasificador del Uplink. En la figura 4 se muestra un esquema representativo del proceso de clasificación de la sub-capa Packet CS en la BS para el Downlink.

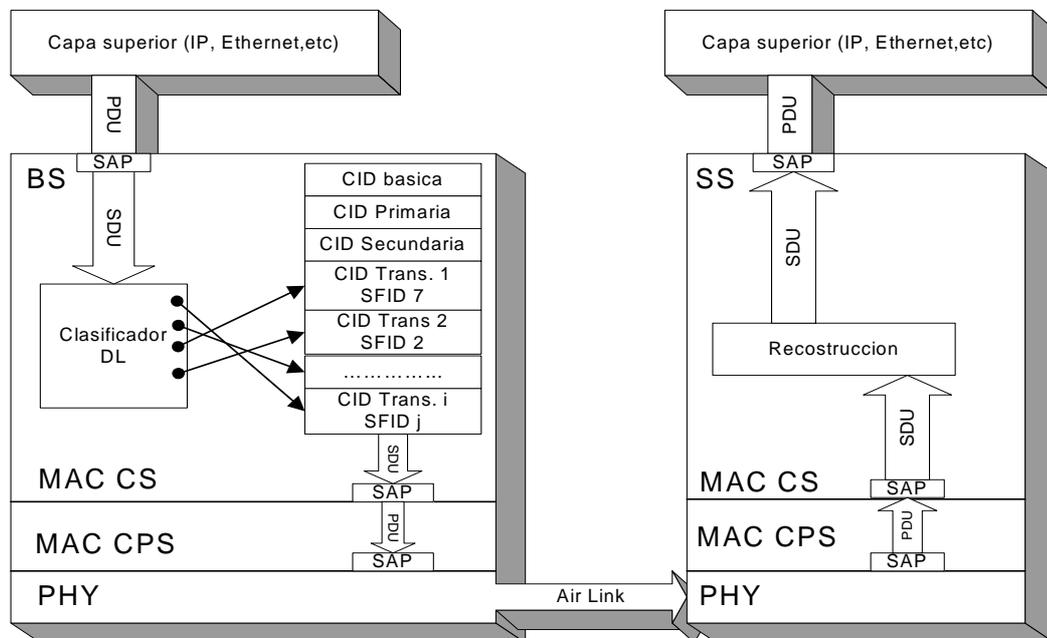


Figura 4. Clasificación y mapeo de la CID en el Downlink.

4.2. Sub-Capa de parte común del MAC (MAC CPS).

La sub-capa de parte común es el núcleo de la capa MAC. Realiza las funciones de construcción de PDU a partir de las SDU provenientes de la sub-capa Packet CS, recibe las PDU provenientes de la sub-capa ATM CS, define los parámetros de QoS a cada flujo de servicio, ejecuta señalización para la iniciación de la conexión entre la BS y las SSs, y encripta los datos que van a ser enviados por el enlace aéreo.

La capa MAC está orientada a la conexión, donde todos los servicios incluyendo los servicios sin conexión son mapeados en una conexión. Esto provee un mecanismo para solicitud de ancho de banda, asociación de QoS y parámetros de tráfico.

Las primeras conexiones son creadas al inicio del ranging¹ donde se crea primero, la conexión de inicio de ranging seguidas de conexiones gestión y de transporte. Estas son identificadas por los identificadores de conexión (CID) de 16 bit que permiten hasta 64 mil conexiones dentro del Downlink y el Uplink. Cada SS tiene una dirección MAC de 48 bits estándar, pero esto sirve principalmente como un identificador del equipo, ya que las direcciones primarias usadas durante la operación son los CID's.

Durante la entrada en la red se crean tres conexiones de gestión en cada dirección después de establecida la conexión de ranging. Estas tres conexiones reflejan los tres diferentes requerimientos de QoS usados para diferentes niveles de gestión. La primera de estas es La Conexión Básica, la cual es usada para transferencias cortas donde se envían los mensajes de gestión MAC de tiempo crítico,

¹ El ranging consiste en un censo de potencia realizado por las SS y la BS para ajustarse a un nivel de potencia adecuado para la transmisión.

La Conexión Primaria que es usada para transferir mensajes más largos y más tolerantes al retraso como los usados para la autenticación y establecimiento de conexión, y La Conexión Secundaria que es usada para transferencias tolerantes al retraso tales como mensajes de gestión basados en estándares llevados en datagramas IP (DHCP, TFTP, y SNMP). Estos mensajes pueden estar empaquetados o fragmentados.

Adicionalmente a las conexiones de gestión se crean las conexiones de transporte para los servicios contratados. Las conexiones de transporte son unidireccionales y es a ellas que se le mapean los flujos de servicio. De esta manera se facilitan los diferentes parámetros de QoS en el Uplink y el Downlink.

4.2.1. Unidades de datos de protocolo (MAC PDU).

La MAC PDU es la unidad de datos intercambiada entre las capas MAC de la BS y sus SSs. La sub-capa MAC CPS realiza la fragmentación o el empaquetamiento de las SDUs en una PDU. Si las PDUs tienen la misma modulación y codificación puede ser concatenados en ráfagas.

Una MAC PDU consiste de una cabecera MAC de longitud determinada, una carga útil de longitud fija o variable, y un campo de chequeo de redundancia cíclica (CRC: *Cyclic Redundancy Check*) (figura 5). El campo CRC es obligatorio para las interfaces de aire basadas en OFDM y OFDMA. Existen dos formatos de cabeceras distinguidos por el campo de tipo de cabecera (HT: *Header Type*), los cuales son: la cabecera genérica la cual incluye sub-cabeceras adicionales y la cabecera de petición de ancho de banda la cual no contiene carga útil.

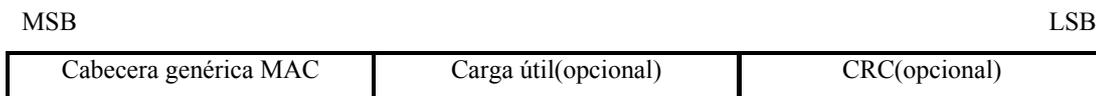


Figura 5. Formato de una MAC PDU.

4.2.1.1. Cabeceras MAC.

Las cabeceras MAC, mostradas en la figura 6, están formadas por los siguientes campos:

- CI: indica si el CRC esta habilitado con el valor de 1 lógico.
- CID: identificador de la conexión.
- EC (*Encrytion Control*): control de encriptación, indica si la carga útil esta cifrada con el valor de 1 lógico. Para la cabecera de petición de ancho de banda es siempre 0.
- EKS (*Encrytion Key Sequence*): Secuencia de llave de encriptación.
- HCS (*Header Check Sequence*): Secuencia de chequeo de cabecera, es un campo de 8 bits usado para la detección de errores en la cabecera.
- HT: indicador de tipo de cabecera.
- LEN: campo que indica la longitud en bytes del MAC PDU incluyendo su cabecera y el CRC.
- BR: indica el número de bytes de ancho de banda del Uplink que solicita la SS. Esta petición de ancho de banda es para la conexión identificada por el CID.
- Tipo: indica la presencia de sub-cabeceras y tipos especiales presentes en los mensajes de la carga útil que siguen a la cabecera. Para la cabecera de petición de ancho de banda solo hay dos tipos: 000 para incrementar y 001 para sustituir el ancho de banda.

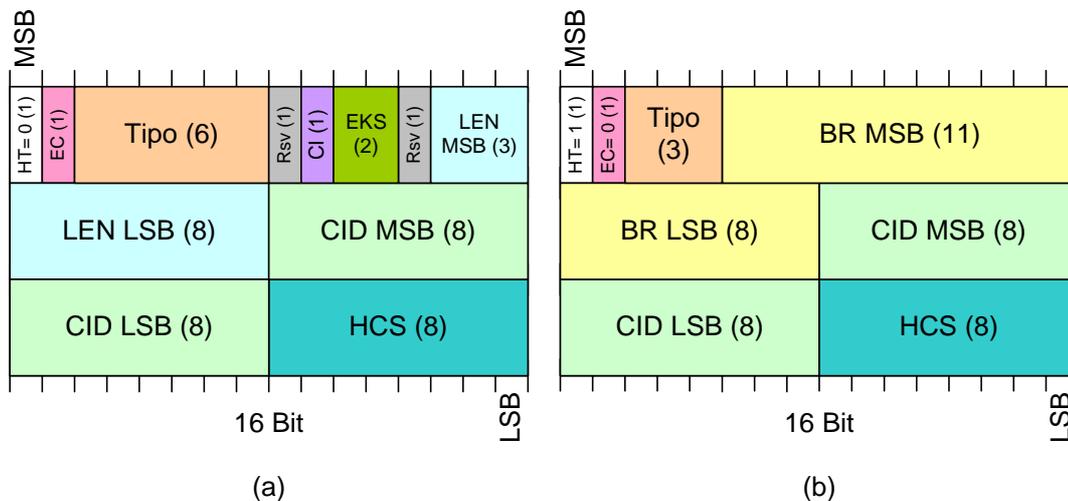


Figura 6. Cabecera MAC PDU genérica (a) y de petición de ancho de banda (b).

4.2.1.2. Sub-cabeceras MAC.

Las sub-cabeceras son incluidas seguidas de la cabecera genérica y aparecen según lo especificado en el campo “Tipo”. Existen cinco tipos de sub-cabeceras presentes en una MAC PDU especificada en IEEE 802.16-2004, de las cuales sólo tomaremos las usadas en la interfaz WirelessMAN-OFDM debido a que esta es para aplicaciones fijas y nómadas. La cabecera de gestión de concesión es usada por las SSs para transportar los mensajes de gestión de ancho de banda, la cabecera de fragmentación que indica como están divididos los datos dentro de la carga útil, y la cabecera de empaquetamiento que indica como fueron empaquetadas las SDU. Las dos primeras son incluidas por PDU transportada y la última es incluida por SDU de tamaño variable transportada. Si las SDU son de tamaño fijo entonces solo se usará una única sub-cabecera de empaquetamiento que presidirá a todas estas SDU. Las sub-cabeceras de empaquetamiento y de fragmentación son mutuamente excluyentes.

4.2.1.3. Mensajes de gestión MAC.

Los mensajes de gestión MAC son llevados en la carga útil de la MAC PDU. Todos los mensajes de gestión comienzan con un campo tipo y además puede contener campos adicionales propios de cada mensaje. Los mensajes de gestión de la conexión básica, de difusión, y de inicio de ranging no serán fragmentados ni empaquetados. Los mensajes de gestión para la conexión gestión primaria pueden ser empaquetados y/o fragmentados. En la capa física WirelessMAN-OFDM, los mensajes de gestión llevados en estas conexiones tendrán permitido el uso de CRC. En la figura 7 se puede ver el formato de un mensaje de gestión.



Figura 7. Formato de un mensaje de gestión MAC.

4.2.2. QoS.

La Calidad de servicio en el IEEE 802.16-2004 viene dada por una serie de protocolos aplicados al tráfico del Downlink y del Uplink que proveen QoS de extremo a extremo. El principal propósito de las características de QoS es definir el ordenamiento y planificación en la interfaz de aire. Los requerimientos de QoS ofrecidos son la configuración y registro de flujos de servicio y parámetros de tráfico en las SSs mediante el establecimiento dinámico de flujo de servicio en el Uplink y parámetros de tráfico en el Uplink y el Downlink. De forma opcional se realizará el agrupamiento de flujos de servicio con propiedades definidas a una clase de servicio, con el fin de permitir a entidades externas o de capas superiores establecer parámetros de QoS deseados.

En la figura 8 se representa el modelo de objetos de la operación de la capa MAC, donde se pueden ver los actores más importantes en el enlace. Se puede ver que el objeto central es el flujo de servicio y a él se le relacionan las MAC PDU, las conexiones y las clases de servicio. En el modelo se pueden ver los parámetros e identificadores asociados a cada objeto, así como la relación entre números de objetos.

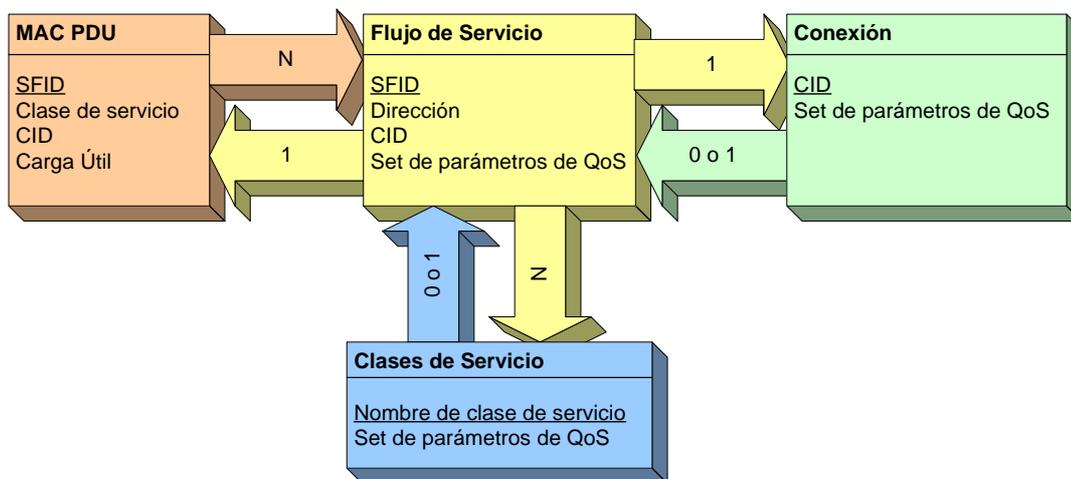


Figura 8. Modelo de objetos de la operación del protocolo MAC.

4.2.2.1. Flujos de servicio.

Un flujo de servicio es un servicio de transporte unidireccional de paquetes del MAC que proporciona una QoS particular. Los flujos de servicio en la dirección del Downlink como en la dirección del Uplink son identificados y orientados por el identificador SFID de 32 bit y caracterizados por un conjunto de parámetros de QoS y de tráfico tales como latencia, jitter y capacidad efectiva asegurada, etc.

Los flujos de servicio son definidos por tres parámetros:

- Parámetros de Aprovisionamiento (*ProvisionedQoSParamSet*): son parámetros aprovisionados por entidades de capas superiores, como sistemas de gestión de red o parámetros de QoS preestablecidos en las SDU entrantes.
- Parámetros de Admisión (*AdmittedQoSParamSet*): define un sistema de parámetros de QoS para los cuales las BSs (y posiblemente las SSs) están reservando recursos. El recurso principal que se reservará es ancho de banda.
- Parámetros de Activación (*ActiveQoSParamSet*): definen los servicios que son proporcionados realmente al flujo de servicio. Solamente un flujo de servicio activo puede remitir los paquetes.

Otro atributo que define a los flujos de servicio es el *Modulo de Autorización* el cual es una función lógica dentro de la BS que aprueba o niega la admisión, activación, o cambio de parámetros de QoS que se hagan en un flujo de servicio. El define los límites de los valores de los parámetros de admisión y activación.

Los cambios de parámetros serán autorizados estática o dinámicamente. Cuando se usa un modelo estático de autorización los parámetros de aprovisionamiento son establecidos y fijados al momento de la configuración inicial de la SS. Cuando son autorizados dinámicamente, los cambios son autorizados por un servidor independiente de políticas de prioridad de admisión. En el modelo estático los parámetros de activación serán un subconjunto de los de admisión y a su vez estos serán un subconjunto de los parámetros de aprovisionamiento los cuales son iguales a los apremios de QoS. En el modelo dinámico los parámetros de admisión y activación no necesariamente serán un subconjunto de los parámetros de aprovisionamiento pero si serán subconjunto de los parámetros definidos por un servidor de políticas de prioridad de admisión. Estos parámetros clasifican a los flujos de servicio en tres tipos:

- *Flujo de Servicio Aprovevisionado:* Un flujo de servicio puede ser proveido pero no activado inmediatamente. Las especificaciones de este flujo de servicio son proveidas por entidades externas a la red IEEE 802.16-2004. La red proporciona identificador de flujo de servicio (SFID) y si se solicita una activación o cambio de parámetros dinámicamente, realiza un intercambio de parámetros con el servidor de prioridad de admisión. Un flujo de servicio proveido puede ser activado inmediatamente, mediante la especificación de una entidad externa, por ejemplo un sistema de gestión de red.
- *Flujo de servicios admitido:* Un flujo de servicio es admitido basado en un modelo bifásico de activación, este consiste en gestionar la admisión de los recursos para la conexión extremo a extremo y una vez establecidos, son activados. El modelo bifásico conserva los recursos de la red hasta que se haya establecido una conexión completa y chequea la política de prioridad de admisión lo más rápidamente posible antes de informar al extremo lejano una petición de conexión. Esto evita los panoramas potenciales de robo de servicio.
- *Flujo de servicio activado:* Un flujo de servicio que tiene un `ActivateQoSParamSet` no nulo indica que es flujo activo. Un flujo de servicio admitido puede ser activado proporcionando parámetros de activación señalando los recursos deseados para el transporte de los paquetes. Esto termina la segunda etapa del modelo bifásico de la activación. Un flujo de servicio puede ser proveido y activado inmediatamente. Alternativamente, un flujo de servicio puede ser creado dinámicamente y ser activado inmediatamente, en este caso, se salta la activación bifásica. Una vez activado, la SFID será mapeada a una conexión (CID) para comenzar el transporte de paquetes.

Los flujos del servicio pueden ser creados, cambiados o borrados. Esto se logra con una serie de mensajes de la gerencia de la capa MAC como el mensaje de adición de servicios dinámicos (DSA: *Dynamic Service Addition*), de cambio de servicios dinámicos (DSC: *Dynamic Service Change*), y de borrado de servicios dinámicos (DSD: *Dinamic Service Deletion*). Los mensajes DSA crean un nuevo flujo del servicio, los mensajes DSC cambian un flujo de servicio existente y el mensaje DSD borra un flujo de servicio existente y solicitan terminar la conexión de transporte. Un flujo de servicio puede estar en estado nulo que es cuando no posee una SFID o en estado operacional cuando tiene una SFID asignada. La maquina de estados que gestiona los flujos de servicios es mostrada en la figura 9.

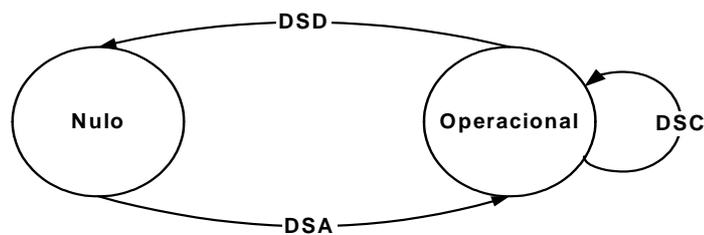


Figura 9. Máquina de estado de gestión de flujos de servicio.

4.2.2.2. Clases de servicio.

Las Clases de Servicio son identificadores que especifican valores de parámetros de QoS. Estas permiten a los protocolos de capas superiores crear un flujo de servicio con una serie de parámetros definidos por el Nombre de Clase de Servicio (*Service Class Name*). También los operadores pueden cargar la configuración de un flujo de servicio desde servidores de aprovisionamiento en las BSs aprovisionando un Nombre de Clase de Servicio a las SSs, el cual es configurado en la BS. Esto permite modificar la implementación de un servicio dado, sin cambiar el aprovisionamiento de la SS. El uso de clases de servicio es opcional. Un flujo de servicio identificado con una clase de servicio no es tratado de forma diferente a los flujos de servicio que no lo están.

4.2.2.3. Servicios de planificación.

Los Servicios de Planificación representan los mecanismos de direccionamiento de datos transportados en una conexión, soportados por el planificador de la capa MAC. Cada conexión es asociada con un único servicio de planificación y cada servicio de planificación es asociado con una serie de parámetros de tráfico QoS que cuantifican su comportamiento. Los parámetros son manejados por el intercambio de mensajes DSA y DSC entre la BS y la SS. Existen cuatro tipos de servicios de planificación: UGS, rtPS, nrtPS y BE.

- Servicios de concesión no solicitada (UGS: *Unsolicited Grant Service*): El UGS está diseñado para soportar servicios en tiempo real que se generan de paquetes de datos de tamaño fijo con base periódica. Por ejemplo TDM sobre T1/E1 y voz sobre IP sin supresión de silencio. Cuando un flujo de servicio es asociado con UGS, este será provisionado y activado inmediatamente evitando el retraso en la transmisión de los paquetes.
- Servicios de Polling en tiempo real. (rtPS: *Real Time Polling Service*): están diseñados para soportar servicios de tiempo real que son generados por paquetes de datos de tamaño variable con base periódica, tal como el video con compresión MPEG (*Moving Pictures Experts Group*). Este planificador solo permite peticiones de ancho de banda por Polling Unicast¹.
- Servicios de polling en tiempo no real (nrtPS: *Non-Real Time Polling Service*): están diseñados para soportar paquetes de datos de tamaño variable tolerantes al retraso, en donde la tasa de transmisión es mínima. Todas las formas de Polling son permitidas pero la manera particular (*Unicast*) puede ser restringida.

¹ *Polling* es un mecanismo de la BS para conceder ancho de banda de manera particular (*Unicast*) o en grupo (*Broadcast o Multicast*).

- Mejor Esfuerzo (BE: *Best Effort*): esta diseñado para soportar paquetes de datos en donde no se requiere un porcentaje mínimo de disponibilidad. Todas las formas de Polling son permitidas.

En la tabla 1 se muestran los parámetros de tráfico obligatorios asociados a cada servicio de planificación.

Tabla 1. Parámetros de tráfico QoS asociados a los servicios de planificación.

	UGS	rtPS	nrtPS	BE
Máxima capacidad sostenida (MIR)	Si CIR=MIR	Si	Si	Si
Mínima capacidad reservada (CIR)	Si CIR=MIR	Si	Si	No
Prioridad de tráfico	No	No	Si	Si
Latencia Máxima	Si	Si	No	No
Tolerancia al Jitter	Si	No	No	No
Política de petición/transmisión	Si	Si	Si	Si

4.2.3. Asignación de ancho de banda y mecanismos de petición.

Durante la entrada y la inicialización de la conexión a la red cada una de las SSs tendrá asignada hasta tres CIDs dedicados con el fin de enviar y de recibir mensajes del control y gestión. Estos pares de conexiones (Uplink y Downlink) se utilizan para permitir que distintos niveles de QoS sean aplicados a las diversas conexiones que llevan tráfico de gestión del MAC. El incremento o decremento de los requerimientos de ancho de banda es necesario para todos los servicios excepto para el servicio UGS.

El servicio de acceso múltiple asignado por demanda (DAMA: *Demand Assigned Multiple Access*), ofrece recursos sobre una base de la asignación por demanda, al presentarse la necesidad. Cuando las SSs necesitan pedir ancho de banda en una conexión con el servicio de planificación BE, envían un mensaje al BS que contiene los requisitos inmediatos de la conexión con DAMA. Los parámetros QoS

para la conexión son fijados en el establecimiento de la conexión y son visualizados por la BS. Existen varios métodos y mecanismos con las que las SSs pueden obtener ancho de banda a las BSs: petición, concesión, polling y por contención¹.

4.2.3.1. Petición

Las peticiones son un mecanismo que usan las SSs para indicar a la BS que necesitan la asignación de ancho de banda en el Uplink. Una petición puede venir como una cabecera de petición de ancho de banda independiente. Debido a que el perfil de ráfaga del Uplink puede cambiar dinámicamente², todos los pedidos de ancho de banda serán hechos en términos del número de bytes necesarios para llevar la cabecera y la carga útil de capa MAC, pero no la cabecera de la trama de capa física. Las peticiones de ancho de banda pueden ser incrementales o sustituidas. Cuando es incremental, el ancho de banda se agregará según las necesidades actuales de la conexión y cuando es sustituido la BS reemplazará la cantidad de ancho de banda utilizado por la cantidad de ancho de banda solicitada.

4.2.3.2. Concesión.

Cuando un SS pide ancho de banda, estas solicitudes son referidas a conexiones individuales, mientras por concesión se trata a una CID básica de una SS y no a CIDs individuales. En este caso la BS otorga una oportunidad de transmisión. Si esta es menor de la esperada, la SS puede elegir retirarse, hacer la petición otra vez o desechar la SDU por falta de ancho de banda

¹ El mecanismo de solicitud de ancho de banda por contención es utilizado por la BS para evitar colisiones a al momento de solicitar ancho de banda, este será explicado con mas detalle en el punto 5.5.3

² Un perfil de ráfaga es un esquema de modulación y codificación definido para un enlace entre la BS y sus SSs.

4.2.3.3. Polling.

El polling es el proceso por el cual la BS asigna ancho de banda a las SSs específicamente para hacer peticiones de ancho de banda. Estas asignaciones de ancho de banda pueden ser para SSs individuales (unicast) o en grupos de SSs (por difusión o multicast). Las asignaciones no están en la forma de un mensaje gestión explícito, sino se contienen como una serie de elementos de información (IE: *Information Element*) dentro del mensaje mapa del Uplink (UL-MAP: *Uplink Map*)¹.

El *polling unicast* ocurre cuando las SSs son preguntadas individualmente por la BS. Al SS se le asigna, en el UL-MAP, ancho de banda suficiente para responder con una petición hecha. Si las SSs no necesitan ancho de banda, la asignación se rellena. Las SSs que tienen una conexión activa de UGS de suficiente ancho de banda, no serán preguntadas individualmente a menos que fijen el bit PM (*Poll-Me bit*) en la cabecera del paquete. Esto ahorra ancho de banda al no tener que hacer polling a todas las SSs individualmente.

En el *polling multicast* o *broadcast (difusión)*, si el ancho de banda disponible es escaso para preguntar individualmente a muchos SSs inactivos, algunas SSs pueden ser preguntadas en grupos multicast o en mensajes broadcast. Ciertos CIDs son reservados para los grupos multicast y mensajes de difusión. Como con el polling unicast, la encuesta no es un mensaje explícito, sino un ancho de banda asignado en el UL-MAP.

¹ Mas información sobre los mensajes mapa y los elementos de información en el anexo N° 5, punto 5.2.3.

4.2.4. Entrada a La Red e Inicialización.

El procedimiento para la inclusión y registro de una SS en la red consta de las siguientes fases las cuales son mostradas en el diagrama de la figura 10.

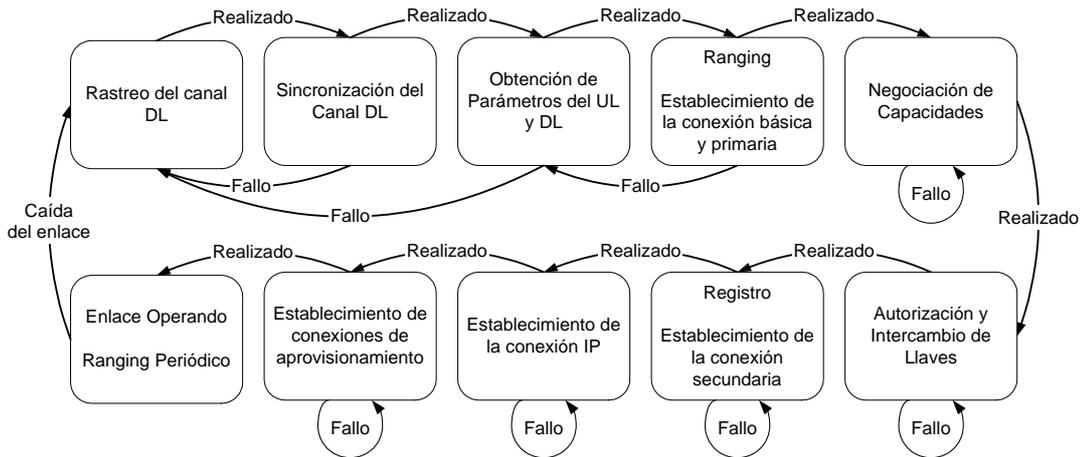


Figura 10. Diagrama de flujo de el proceso entrada a la red.

Para que una SS pueda ingresar a la red, esta debe contar con una dirección MAC de 48 bit asignada en su fabricación, la cual es usada para identificar a las SSs en los servidores de aprovisionamiento, y un certificado digital de seguridad IETF X.509 para autenticar a las SSs en los servidores de autorización, autenticación y tasación (AAA: *Authentication, Authorization and Accounting*). Para iniciar el proceso de entrada, las SSs deberán iniciar una conexión de difusión con la BS configurada en el mejor perfil de ráfaga¹.

¹ Un perfil de ráfaga es un esquema de modulación y codificación definido para un enlace entre la BS y la SS. El Mejor perfil de ráfaga es el de modulación BPSK con codificación total $\frac{1}{2}$. Para más información sobre los esquemas de modulación y codificación ver anexo N° 6.

4.2.4.1. Rastreo y sincronización del canal Downlink.

En la inicialización o después de pérdida de la señal, las SSs buscarán sintonizar un canal Downlink. Las SSs tendrán almacenaje permanente donde guardarán los últimos parámetros operacionales utilizados y el primer intento de readquirir el canal Downlink. Si la sintonización no es satisfactoria, la SS comenzará a rastrear continuamente los posibles canales de la banda de frecuencia del Downlink en operación, hasta encontrar un canal Downlink adecuado. Una vez se haya alcanzado la sincronización al recibir el primer mensaje mapa (DL-MAP: *Downlink Map*), los mecanismos de capa MAC comenzará el proceso de adquisición de los parámetros del Uplink y el Downlink.

4.2.4.2. Obtención de parámetros del Downlink y del Uplink

Una vez que las SSs han alcanzado la sincronización, los mecanismos de capa MAC comenzarán a obtener los parámetros asociados del mensaje DL-MAP y del mensaje descriptor del canal Downlink (DCD: *Downlink Channel Descriptor*). Las SSs recibirán estos mensajes periódicamente. Si en algún momento estos mensajes no son recibidos la sincronización se pierde. La SS intentará restablecer la sincronización, si no lo logra, deberá sintonizar un nuevo canal Downlink.

Después las SSs esperarán un mensaje UCD de las BSs para recuperar los parámetros de transmisión de un posible canal Uplink. Las BSs transmiten estos mensajes en la conexión de difusión de forma periódica para habilitar todos los posibles canales Uplink. Si no se puede encontrar ningún canal Uplink, después de un período conveniente de espera, las SSs continuarán explorando un nuevo canal del Downlink.

Las SSs determinarán los parámetros que describen el canal y gestionaran la resolución de contención de el mensaje descriptor del canal Uplink (UCD: *Uplink*

Channel Descriptor), mientras puedan utilizar el canal Uplink. Estos esperarán el mensaje siguiente DL-MAP y extraerán la sincronización de tiempo de este mensaje. Los mecanismos de capa MAC considerarán tener parámetros válidos del Uplink mientras continúa recibiendo con éxito los mensajes UL-MAP y UCD. Finalmente la SS esperará por un mapa de asignación de ancho de banda según lo establecido en los mecanismos descritos en el punto 3.2.3.

4.2.4.3. Inicio del Ranging.

El ranging es el proceso de ajuste de los parámetros que caracterizan el canal RF. Este proceso es realizado para lograr que las transmisiones estén en los umbrales apropiados de recepción y calidad del enlace entre la BS y la SS. El ranging comienza estableciendo una conexión de inicio de ranging. Esta será iniciada basada en contención¹, visualizando las oportunidades de transmisión pertenecientes a la zona de inicio de ranging establecida en la trama especificada en la interfase WirelessMAN-OFDM.

El ranging es gestionado por los mensajes ranging (RNG). La SS envía un primer mensaje de petición de ranging, el cual es mapeado a una conexión de inicio de ranging. Este mensaje indicará un nivel de potencia menor al nivel máximo de potencia que es capaz de entregar el transmisor de la SS. Si la SS no recibe respuesta de la BS, la SS intentará enviando un nuevo mensaje de petición con un nivel de potencia mas elevado en una próxima oportunidad de transmisión¹. Si finalmente la BS recibe el mensaje de petición de inicio de ranging, este enviará un mensaje de respuesta indicando los parámetros definitivos que caracterizarán el canal RF. Finalmente la SS hará los ajustes y el proceso de ranging estará completado. Después

¹ El proceso de inicio de conexión basada en contención es aquel donde a las SS se le asignan oportunidades de transmisión, las cuales escogerán al azar para evitar colisiones en la entrada a la red. Ver Anexo N° 5, punto 5.3.

de terminado el ranging, este se mantendrá periódicamente para garantizar la calidad del enlace en todo momento.

4.2.4.3.1. Gestión de perfil de ráfaga en el Downlink.

El perfil de ráfaga en el Downlink es determinado por las BSs de acuerdo a la calidad de la señal que se está recibiendo de cada SS. Para reducir el volumen de tráfico en el Uplink, las SSs monitorean los niveles de cociente portadora a ruido interferente (CINR: *Carrier Interference and Noise Ratio*) y comparan el valor medio contra el rango de operación permitido¹. Esta región es limitada por umbrales, si el CINR recibido está fuera de la región de funcionamiento permitida, las SSs solicitan un cambio a un nuevo perfil de ráfaga usando uno de dos métodos.

El primero consiste en enviar un mensaje de cambio de perfil de ráfaga (DBPC: *Downlink Burst Profile Change*). Si la SS no logra que la BS le conceda ancho de banda, está enviará un mensaje DBPC-REQ solicitando un cambio de perfil. La BS responderá con un mensaje de DBPC-RSP indicando el nuevo perfil de ráfaga. El otro método se usa si una concesión no está disponible y las SSs requieren un perfil de ráfaga más robusto en el Downlink², para esto las SSs enviarán un mensaje de RNG-REQ en un intervalo de inicio de ranging, para ajustar nuevamente los parámetros del canal.

Con cualquier método, los mensajes serán enviados en la conexión básica de las SSs. Para determinar el perfil de ráfaga óptimo de acuerdo con los niveles establecidos al umbral de CINR, las SSs aplicarán un algoritmo a los parámetros incluidos en el mensaje DCD. En la figura 11 se muestra las transiciones de perfil de ráfaga y en la tabla 2 los perfiles de ráfaga utilizados.

¹ Mas información sobre los rangos y medición de CINR ver anexo N° 6, punto 6.8.

² Un perfil de ráfaga robusto es aquel que es más inmune a los efectos de propagación. El perfil más robusto es BPSK $\frac{1}{2}$.

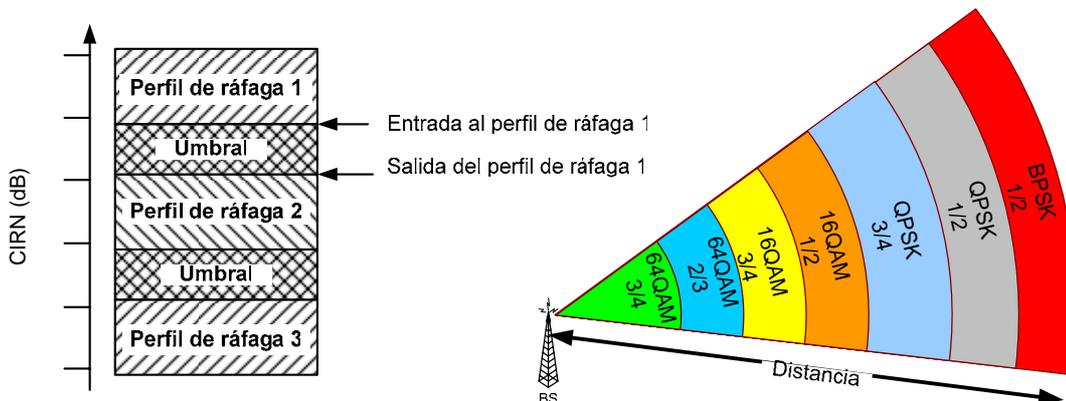


Figura 11. Transición de perfil de ráfaga y los umbrales de decisión.

Tabla 2. Perfiles de Ráfaga

Rate_ID	Modulación y	Tasa de codificación	Información Bit/símbolo Codificados	Información Bit/símbolo OFDM
0	BPSK	1/2	0.5	88
1	QPSK	1/2	1	184
2	QPSK	3/4	1.5	280
3	16QAM	1/2	2	376
4	16QAM	3/4	3	568
5	64QAM	2/3	4	760
6	64QAM	3/4	4.5	856
7-15	Reservado	----	----	----

4.2.4.3.2. Mensajes descriptores de canal

Los descriptores de canal para el Uplink (UCD) y para el Downlink (DCD) son mensajes de gestión transmitidos en intervalos regulares que definen los parámetros de calidad del canal medidos por la BS. Cada descriptor de canal contiene el contador de cambio de configuración, el cual permanece intacto mientras el descriptor de canal se mantenga sin cambios. Todos los mensajes UL-MAP y DL-MAP asignados a transmisiones y recepciones usan perfiles de ráfaga definidos por los descriptores de canal. El UCD gestiona los mecanismos de contención, tanto para la petición de ancho de banda como para el inicio de ranging. Este define el inicio de las ventanas de contención e indican el tamaño de los rangos de estas ventanas.

4.2.4.4. Negociación de capacidades básicas.

Inmediatamente después de finalizar el ranging, las SSs informan a las BSs de las capacidades básicas que son necesarias para la comunicación durante la permanencia de los protocolos de inicialización. Estas capacidades incluyen parámetros físicos y soporte para la petición de ancho de banda. Esta negociación es llevada a cabo por los mensajes de capacidades básicas de las SSs (SBC: *Subscriber Station Basic Capability*).

4.2.4.5. Autorización de SS y llaves de intercambio.

En esta fase las SSs solicitan a la BS la autorización y autenticación para poder enviar paquetes en un flujo de servicio deseado. La autenticación es realizada por el protocolo de gestión de llaves privadas (PKM: *Protocol Key Management*).

4.2.4.6. Registro.

El registro es el proceso por el cual las SSs son autorizadas a entrar en la red. En esta fase se establece la conexión secundaria, en donde se gestiona las conexiones IP. Para registrarse con una BS, las SSs enviara un mensaje de registro REG-REQ y la BS responderá con un mensaje REG-RSP donde autoriza el tráfico en la red. La conexión de gestión secundaria incluirá las capacidades, la configuración de la conexión y la operación de los mecanismos de capa MAC. Las SSs pueden incluir en el mensaje REG las versiones IP que son soportadas en la conexión gestión secundaria. Si no se indica, la conexión usará el IP versión 4.

4.2.4.7. Inicio de conectividad IP.

Creada la conexión secundaria las SSs iniciaran la conexión IP invocando los mecanismos de protocolo de configuración de direcciones dinámicas (DHCP: *Dinamic Host Configuration Protocol*) para obtener la dirección IP y cualquier otro parámetro necesario para establecer la conectividad IP. Las SSs y las BSs necesitarán tener la fecha actual y la hora. Ellas la obtienen usando el protocolo definido por el RFC 868 del IETF. La petición y la respuesta serán transferidas usando protocolo de datagramas de usuario (UDP: User Datagram Protocol). El tiempo recuperado del servidor será combinado con la compensación de tiempo recibida de la respuesta del mecanismo DHCP y así definirá el tiempo local actual. Después que el DHCP sea satisfactorio, las SSs descargarán los archivos para su configuración usando el protocolo de transferencia de archivos trivial (TFTP: *Trivial File Transfer Protocol*) en la conexión de gestión secundaria.

Cuando la transferencia directa de los archivos de configuración ha terminado con éxito, las SSs notificarán a la BS transmitiendo un mensaje de TFTP-CPLT en la conexión de gestión primaria. Las transmisiones continuarán periódicamente hasta que un mensaje de TFTP-RSP es recibido con respuesta "OK" de la BS, Si este mensaje no es recibido entonces las SSs terminarán las transmisión después de esperar un tiempo estipulado.

4.2.4.8. Establecimiento de las conexiones de aprovisionamiento.

Después de la transferencia de los parámetros operacionales para gestionar la SS o después del registro, las BSs envían los mensajes DSA-REQ a las SSs fijando conexiones para proveer flujos de servicios pertenecientes a las SSs. Las SSs responden con los mensajes DSA-RSP indicando la creación de las conexiones de transporte y el mapeo a estas de un flujo de servicio.

4.3. Sub-capa de seguridad

Esta sub-capa reside en el núcleo de la sub-capa MAC CPS. Tiene como función soportar la encriptación de los paquetes enviados en el enlace de aire. Esta provee protección de los datos enviados por los suscriptores y también permite proteger las redes de posibles intrusos. Esta sub-capa ofrece privacidad mediante el uso de un protocolo de intercambio de llaves privadas cliente/servidor, en donde las BSs (servidor) distribuyen el material cifrado a las SSs (clientes). Los mecanismos básicos que ofrecen privacidad son basados en la certificación digital de las SSs. Si durante la negociación de las capacidades las SSs especifican no usar los protocolos de seguridad, estas serán obviadas y los datos no serán encriptados.

La sub-capa de seguridad se compone principalmente de dos protocolos. El primero es un protocolo de encapsulado de paquetes de datos cifrados a través de la red fija de banda ancha inalámbrica. Este protocolo define un sistema de soporte de suites criptográficas que realizan funciones de mapeo de datos cifrados. Una Suite Criptográfica es un sistema de métodos de asociaciones de seguridad para el cifrado de llaves privadas de encriptación de tráfico (TEK: *Traffic Encryption Key*) y para la encriptación y autenticación de los datos intercambiados entre la BS y las SSs. Las suites utilizadas son el estándar de encriptación de datos (DES: *Data Encryption Standar*) y el estándar avanzado de encriptación (AES: *Advance Encryption Standar*). Además cuenta con algoritmos de autenticación y reglas para aplicar esos algoritmos a la carga útil de las PDU de capa MAC.

El segundo es un protocolo de gestión de llaves (PKM: *Protocol Key Management*) que provee la distribución segura de los datos cifrados de las SSs y las BSs. Este protocolo se encarga de sincronizar los datos cifrados y hacer cumplir el acceso condicional a los servicios de la red.

4.3.1. Protocolo de gestión de llaves (PKM).

El protocolo PKM consiste de un modelo cliente/servidor, donde la SS es un “cliente” PKM que pide el material cifrado, y la BS es un “servidor” PKM que responde a esas peticiones, asegurándose que las SSs clientes individuales reciban únicamente el material cifrado que fue autorizado. El protocolo PKM utiliza los mensajes de gestión PKM, para realizar las funciones de seguridad.

El protocolo PKM utiliza la criptografía de llaves públicas de autorización (AK: *Authorization Key*) para establecer una comunicación privada entre las SSs y la BS. Esta comunicación privada se utiliza para asegurar subsecuentemente los intercambios de llaves privadas de cifrado de tráfico (TEKs), las cuales tienen un tiempo de vida limitado. Este mecanismo de dos niveles para la distribución de llaves permite la restauración de TEKs sin incurrir en el procesamiento intensivo de llaves públicas. Una BS autentifica a un cliente SS durante el intercambio inicial de llaves de autorización. Cada una de las SSs lleva un certificado digital único IETF X.509 asignado por el fabricante. El certificado digital contiene la llave pública y la dirección MAC de las SSs.

Al solicitar un AK, las SSs presentan su certificado digital al BS. La BS verifica el certificado digital, y después utiliza la llave pública verificada para cifrar un AK y enviarlo de vuelta a la SS. La BS asocia una identidad autenticada de la SS a un suscriptor, y por tanto a los servicios que el suscriptor esté autorizado a tener acceso. Así, con el intercambio de llaves autorizadas, la BS establece una identidad autenticada de un cliente SS y autoriza el acceso. Puesto que la BS autentifica a las SSs, esta puede protegerse de un atacante que emplee un clone de SS, enmascarándose como una SS de un suscriptor legítimo. El uso de los certificados X.509 evita que los clones de SSs pasen credenciales falsas dentro del sistema.

4.3.2. Asociaciones de Seguridad.

Una asociación de seguridad (SA: Security Association) es la información de seguridad de una BS y de uno o más clientes SSs necesaria para soportar comunicaciones seguras a través de la red de IEEE 802.16-2004. Existen tres tipos de SAs: primaria, estática, y dinámica. Cada una de las SSs manejadas establece una SA primaria durante el proceso de inicialización de las SSs. La SA estática es dispuesta por la BS. Las SAs dinámicas son establecidas y eliminadas en respuesta a la iniciación y terminación de los flujos de servicio. Las SAs estáticas y dinámicas pueden ser compartidas por múltiples SSs y la información compartida de un SA incluirá la suite criptográfica empleada. La información compartida puede incluir TEKs y vectores de inicialización. El contenido exacto del SA es dependiente de la suite criptográfica que contenga y serán identificadas por los identificadores de asociaciones de seguridad (SAID: *Security Association Identifier*). Las SS establecerán una SA primaria exclusiva con la BS y esta a su vez asignará una SAID igual al CID de la conexión básica. Las SA serán gestionadas por los mensajes de servicios dinámicos (DSA, DSC, DSD).

Una vez establecidas las SA, las conexiones serán mapeadas a estas siguiendo las siguientes reglas:

1. Todas las conexiones de transporte serán mapeadas a una SA existente.
2. Las conexiones de transporte Multicast pueden ser mapeadas a cualquier SA estática o dinámica.
3. Las conexiones de gestión secundaria serán mapeadas a la SA primaria.
4. Las conexiones de gestión básica y primaria no serán mapeadas a una SA.

CAPITULO V

ESPECIFICACIONES DE CAPA FÍSICA WIRELESSMAN-OFDM (PHY), IEEE 802.16-2004.

La capa física WirelessMAN-OFDM es una interfaz de aire basada en la modulación OFDM. Se ha pensado principalmente para los despliegues de acceso fijo o nómada, donde las SS son puntos de accesos residenciales o comerciales. La capa PHY soporta la sub-canalización en el Uplink con 16 sub-canales y métodos de duplexing por división de tiempo (TDD), por división de la frecuencia (FDD), y FDD half-Duplex (H-FDD) en las SS's. Cuenta con intervalos de contención en la trama del Uplink para el inicio del ranging y solicitud de ancho de banda. Esta define capacidades corrección de errores (FEC: *Forward Error Correction*). EL FEC esta conformado por una combinación de codificación Reed-Solomon (RS) y un esquema de codificación convolucional (CC)¹. Además cuenta un mecanismo de modulación adaptativa que maneja múltiples esquemas de modulación digital. Finalmente la capa PHY soporta la transmisión por diversidad en el Downlink, usando Codificación Espacio-Tiempo (STC: *Space Time Coding*)² y sistemas de antenas adaptativas AAS³.

5.1. Modulación OFDM.

La técnica de multiplexacion por división de frecuencias ortogonales (OFDM: *Orthogonal Frequency División Multiplexing*) constituye un caso particular de las modulaciones multiportadora y puede ser vista como una técnica de modulación o como una técnica de multiplexación. Una señal OFDM,

¹ Ver anexo N° 6, punto 6.2.

² Ver anexo N° 6, punto 6.7.

³ Ver anexo N° 5, punto 5.2.4.

consiste en una suma de sub-portadoras moduladas equidistantes en el dominio de la frecuencia. Su principio de funcionamiento se basa en la conversión serie-paralelo de un flujo de datos complejos de alta velocidad $\{c_k=I+jQ\}^1$ en un conjunto paralelo de N_{used} flujos de datos de tasa de transmisión N_{used} veces inferiores. Los datos $\{c_k\}$ son el resultado de mapear un conjunto de datos binarios sobre un conjunto de flujos que conforman una constelación de valores posibles correspondientes a cada flujo. A continuación cada uno de los flujos de datos es modulado simultáneamente sobre una sub-portadora diferente y después estas son sumadas realizando la operación inversa de la transformada rápida de Fourier (IFFT: *Inverse Fast Fourier Transform*). En consecuencia, el tiempo T del nuevo símbolo resultante se incrementa en un factor N_{used} respecto al tiempo de símbolo que se necesitaría para enviar el flujo de datos en la serie original [3].

5.2. Símbolo OFDM.

En el dominio del tiempo un símbolo OFDM esta conformado por la parte útil de duración T_b y una copia de un fragmento final de la parte útil del símbolo de duración T_g , llamado prefijo cíclico (CP: *Cyclic Prefix*), el cual se utiliza para proveer robustez ante el desvanecimiento multitrayectoria, mientras que se mantiene la ortogonalidad de los tonos. En la figura 12 se muestra la estructura del símbolo en tiempo.

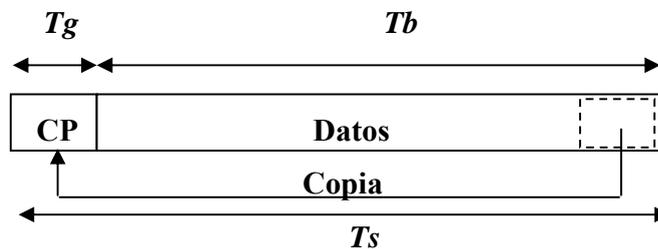


Figura 12. Estructura en tiempo de un símbolo OFDM.

¹ La señal ck es un flujo de datos compuesto por una señal en fase I y una señal en cuadratura Q.

Usando una extensión cíclica CP, las muestras requeridas para realizar la transformada rápida de Fourier (FFT) en el receptor, se pueden tomar de cualquier parte de la longitud del símbolo. Esto proporciona inmunidad al desvanecimiento así como una tolerancia para los errores de sincronización de tiempo del símbolo. En la inicialización, las SS deben buscar todos los valores posibles del CP hasta coincidir con el CP de la BS. Una vez que una duración específica de CP haya sido seleccionada por el BS para la operación en el Downlink, no deberá ser cambiada. Cambiar el CP forzaría a todas las SSs a resincronizarse con la BS. La duración del CP dependerá del retardo de esparcimiento del canal (spread delay).

Si llamamos f_c a la frecuencia portadora, la señal transmitida de un símbolo OFDM que empiece en el instante t se puede escribir como:

$$s(t) = re \left\{ e^{j2\pi f_c t} \cdot \sum_{\substack{k=-N_{used}/2 \\ k \neq 0}}^{N_{used}/2} c_k \cdot e^{j2\pi k \Delta f (t - T_g)} \right\} \quad (1)$$

Donde t es el tiempo transcurrido durante el comienzo de un símbolo OFDM, comprendido en $0 < t < T_s$, T_g es el tiempo del prefijo cíclico, Δf es el espaciado entre sub-portadoras y c_k es un número complejo que conforma los datos transmitidos en una sub-portadora cuyo índice offset de frecuencia es k . En las transmisiones sub-canalizadas, c_k será cero para las sub-portadoras no asignadas. Se definen también los siguientes parámetros para símbolo OFDM:

- N_{FFT} , Número total de sub-portadoras del símbolo.
- F_s : frecuencia de muestreo, $F_s = \text{parte entera}(n * BW / 8000) * 8000$.
- Δf : espaciado entre sub-portadoras, $\Delta f = F_s / N_{FFT}$
- T_b : tiempo útil del símbolo, $T_b = 1 / \Delta f$
- T_g : tiempo de prefijo cíclico CP, $T_g = G * T_b$
- T_s : tiempo de símbolo OFDM, $T_s = T_b + T_g$

- T_b/N_{FFT} : tiempo de guarda.
- G : es el cociente de T_g entre T_b , 1/4, 1/8, 1/16 y 1/32.
- n : factor de muestro, Para la banda de 3.5 GHz, n es 8/7.
- BW : ancho de banda nominal del canal. Para la banda de 3.5 GHz los canales serán $1.75 \text{ MHz} \times 2^B$ donde B es un numero entero par.

En el dominio de la frecuencia un símbolo OFDM es la transformada inversa de Fourier de un conjunto N_{used} de símbolos digitales. Este esta formado por un conjunto de sub-portadoras de datos, sub-portadora piloto para propósitos varios de estimación y sub-canalizacion, y sub-portadoras nulas las cuales no trasmiten datos (ver figura 13). Las sub-portadoras pueden estar inactivas solamente en el caso donde la transmisión es sub-canalizada por los SS. Los sub-canales están conformados por 12 sub-portadoras, en la figura 13 se muestran los 16 sub-canales identificados en colores.

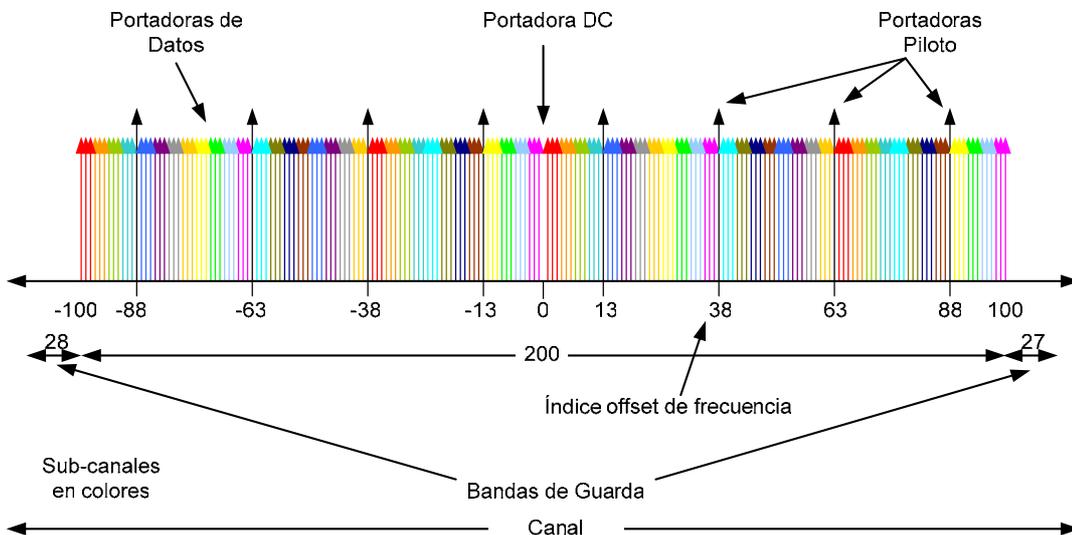


Figura 13. Estructura de símbolo OFDM en frecuencia.

En WirelessMAN OFDM, N_{FFT} es igual a 256 sub-portadoras, donde N_{used} son 200 sub-portadoras formadas por 8 sub-portadoras piloto y 192 sub-portadoras de

datos que pueden ser sub-canalizadas en canales de 12 sub-portadoras. Además están las sub-portadoras nulas formadas por la sub-portadora DC y las bandas de guarda que en frecuencias bajas son 28 sub-portadoras y en frecuencias altas son 27 sub-portadoras. El propósito de las bandas de guarda es permitir que la señal decaiga naturalmente y crear una forma de "pared del ladrillo".

5.3. Estructura de la Trama OFDM-PHY.

La trama WirelessMAN-OFDM consta de la sub-trama del Downlink y la sub-trama del Uplink dispuestas según sea el método de duplexing: TDD o FDD. En las bandas licenciadas se pueden usar ambos métodos de duplexing, pero en las bandas libres solo es posible usar TDD. En FDD puede tener la opción de usar H-FDD en las SSs. En la figura 14 se muestra la estructura de la trama TDD, en el caso de FDD es igual pero cada sub-trama va por un sub-canal distinto. En cada trama TDD, existen dos vacíos en la transmisión que sirven de transición entre las sub-tramas: TTG (*Transmit/receive Transition Gap*) que está insertado entre la sub-trama del Downlink y el Uplink, y el RTG (*Receive/transmit Transition Gap*) que está insertado al final de la sub-trama Uplink para indicar el principio y el final de cada sub-trama. El WirelessMAN OFDM está basado en una transmisión en tramas de tiempo. El intervalo de las sub-tramas puede estar formado por PHY PDU de capa física, vacíos y intervalos de guarda. Una sub-trama Downlink consiste de solo una PDU. Una sub-trama Uplink consiste de intervalos de contención programados para el inicio del ranging y para petición de ancho de banda y una o múltiples PDUs, cada una transmitida de diferentes SSs.

Como se puede ver en la figura 14 el Downlink PHY PDU comienza con un preámbulo largo¹, el cual es usado para la sincronización de la trama. El preámbulo es seguido por la cabecera de control de trama (FCH: *Frame Control Header*). La ráfaga

¹ Ver anexo 6, punto 6.5.

FCH es un símbolo OFDM largo y es transmitido obligatoriamente usando modulación BPSK con tasa de codificación 1/2. El FCH contiene el prefijo de la trama Downlink (DLFP: *Downlink Frame Prefix*) el cual especifica el perfil de ráfaga identificado por el parámetro $Rate_ID^1$ o por el mensaje descriptor DCD, y la longitud de la primera y las subsecuentes ráfagas del Downlink que siguen a el FCH. La primera ráfaga contiene los mensajes de control de capa MAC para broadcast los cuales son DL-MAP, UL-MAP, DCD y UCD, si alguno de ellos es transmitido, irán dispuestos en el orden como son mencionados. Esta primera ráfaga será transmitida con cualquier perfil de ráfaga.

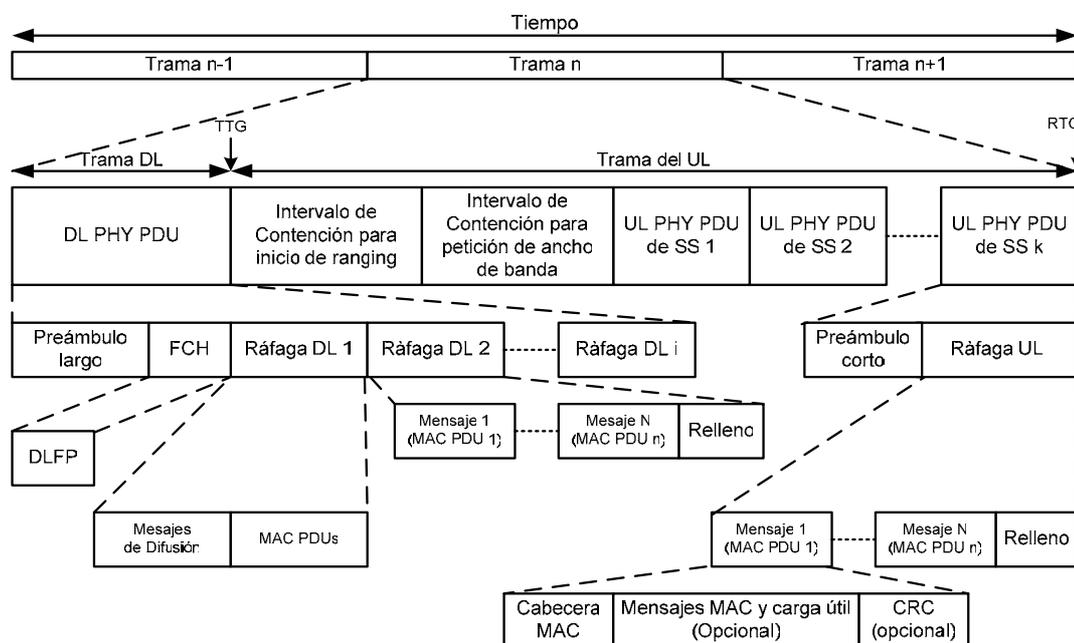


Figura 14. Estructura de trama WirelessMAN-OFDM-PHY para el caso TDD.

La sub-trama del Uplink comienza con un intervalo de contención para el inicio del ranging y para las peticiones de ancho de banda, seguido de estos vendrán los Uplink PHY PDUs, cada uno perteneciente a una SS particular. El Uplink PHY PDU esta conformado por un preámbulo corto que define la sub-canalización y por una sola ráfaga de datos que incluye las MAC PDUs, la cual será transmitida con un

¹ Ver tabla 2.

perfil de ráfaga específico y una longitud especificada por la SS en el mensaje UL-MAP.

Cada ráfaga del Downlink y del Uplink esta conformada de múltiples MAC PDU que contienen una cabecera, mensajes MAC, carga útil si es enviada y control de corrección de errores CRC. Cada ráfaga consiste de un número entero de símbolos OFDM. La duración usada por la trama puede ser determinada por la periodicidad del comienzo del preámbulo de la trama. Una vez que se haya especificado la duración de la trama que ha sido seleccionada por la BS, esta no podrá ser cambiada. Si se cambia la duración de la trama esto forzaría a todos los SS a resincronizarse. La duración de la trama esta comprendida entre 2.5 ms con 400 tramas por segundo a 20 ms con 50 tramas por segundo.

Cuando el sistema de antenas adaptativas es implementado, dos preámbulos cortos son enviados¹. El primero es transmitido repetidamente seguido por el FCH que contiene el AAS-DLFP que lleva toda la información de la ubicación de las SS que cuentan con este sistema, los perfiles de ráfaga y la configuración de los Ases radiados. Este FCH será transmitido en el perfil de ráfaga más robusto posible. También la trama del Downlink puede comenzar con un preámbulo STC para la transmisión por diversidad. Si es transmitido, este será seguido por una ráfaga FCH-STC y por ráfagas codificadas por el código espacio-tiempo (STC) hasta el final de la trama

5.4. Mediciones de calidad del canal.

Las mediciones realizadas por las BS y las SS para cuantificar la calidad del canal son el indicador de intensidad de señal recibida (RSSI: *Receiver Signal Strength Indicator*), el cociente portadora a ruido interferente (CINR). Estas medidas son

¹ Ver anexo 6, punto 6.5.

asociadas a estadísticas para ayudar en procesos tales como la selección y asignación del perfil de ráfaga por parte de la BS. Como el comportamiento del canal es variante en tiempo, se definen la media y la desviación estándar como valores característicos para cada una de las variables medidas. La puesta en práctica de la estadística de RSSI, de CINR y de sus informes es obligatoria. El proceso por el cual las medidas de RSSI son tomadas, no requiere necesariamente que demodulador del receptor sintonice la señal, es por esta razón que las medidas de RSSI ofrecen gravámenes razonablemente confiables de la fuerza de la señal en el canal incluso en los niveles bajos de señal. Por otra parte, aunque las medidas de CINR requieren la sintonización de la señal por parte del receptor, estas proporcionan la información en la condición de funcionamiento real del receptor en las condiciones de interferencia, ruido y fuerza de la señal presentes en el canal¹.

5.5. Mecanismos de control de la capa física PHY.

5.5.1. Sincronización.

Para los métodos de duplexing TDD y de FDD, se recomienda (pero no es requerido) que todas las BSs sean sincronizadas en tiempo a una señal de sincronismo común. Si la señal de sincronismo de la red es perdida, los BSs pueden continuar funcionando y automáticamente resincronizarse cuando la señal de sincronismo de la red sea recuperada. La sincronización de referencia será un pulso de sincronismo de 1 pulso por segundo o una frecuencia de referencia de 10 MHz. Estas señales son proporcionadas típicamente por un receptor GPS (*Global Position System*). Tanto para FDD y como para TDD, las frecuencias de referencia derivadas de la referencia de sincronización se pueden utilizar para controlar la exactitud requerida de frecuencia en la BS. Esto aplica durante la operación normal y durante la pérdida de referencia de la sincronización.

¹ Más información sobre las mediciones de CINR y RSSI en el anexo 6, punto 6.8.

5.5.2. Ranging.

Hay dos tipos de procesos de ranging: el ranging inicial y el ranging periódico. El ranging inicial se realiza durante dos fases de operación: en el registro de canal y cuando se pierde la sincronización. El ranging inicial utiliza el intervalo basado en contención al comienzo de la sub-trama del Uplink, el cual tiene dos símbolos OFDM de largo (ver figura 14). El ranging periódico es realizado durante la transmisión de manera regular en el preámbulo de una ráfaga del Uplink.

Una SS, es incorporada al proceso de ranging, el cual es controlado por la BS, después de haberse registrado en un canal de acceso al azar. El proceso de ranging es cíclico. Los parámetros del tiempo y de potencia prefijados son utilizados para iniciar los ciclos donde son calculados o recalculados los parámetros utilizados hasta que la BS resuelve los criterios de aceptación para el nuevo suscriptor. Estos parámetros serán supervisados, medidos y almacenados en la BS, y se transmitirán a la SS para su uso durante el intercambio normal de los datos. Estos parámetros son actualizados periódicamente durante el intercambio de los datos. El proceso de ranging inicial se realizará con un preámbulo largo y el perfil de ráfaga más robusto.

Cuando la sub-canalización es soportada la estación base puede censar la potencia de un canal que será 1/16 veces la potencia total transmitida. De esta manera la BS identifica a las SS por oportunidades de transmisión, número de trama y sub-canal de ranging.

Si se utiliza antenas adaptativas (AAS), la BS creará una zona de alerta AAS, para que todas las SS con AAS avisen de su presencia. Este período será marcado como un intervalo de inicio de ranging identificado con una CID y un mensaje mapa (MAP) de inicio de ranging para SSs con antenas adaptativas. Esto es para que ningún SS sin AAS intente entrar en este intervalo.

5.5.3. Petición de ancho de banda.

En la interfaz WirelessMAN-OFDM, las SS cuentan con dos mecanismos para solicitar ancho de banda en el uplink basados en procesos de contención. Cuando la BS habilita el canal uplink sin sub-canalización para que las SS soliciten ancho de banda, se dice que la SS usa una región-full del canal. Alternativamente, cuando la BS habilita la sub-canalización, la asignación será fraccionada para que varios SS puedan solicitar ancho de banda simultáneamente, en este caso se dice que la región es enfocada. Estas regiones son definidas en el mensaje descriptor del canal (UCD). Estas regiones son llamadas oportunidades de transmisión (TO, *Transmission Opportunity*). En región-full, la TO es un preámbulo corto y un símbolo OFDM, en una región-enfocada la TO esta formada por cuatro sub-portadoras y dos símbolos OFDM. En la figura 15 se muestran los dos tipos de oportunidades de transmisión.

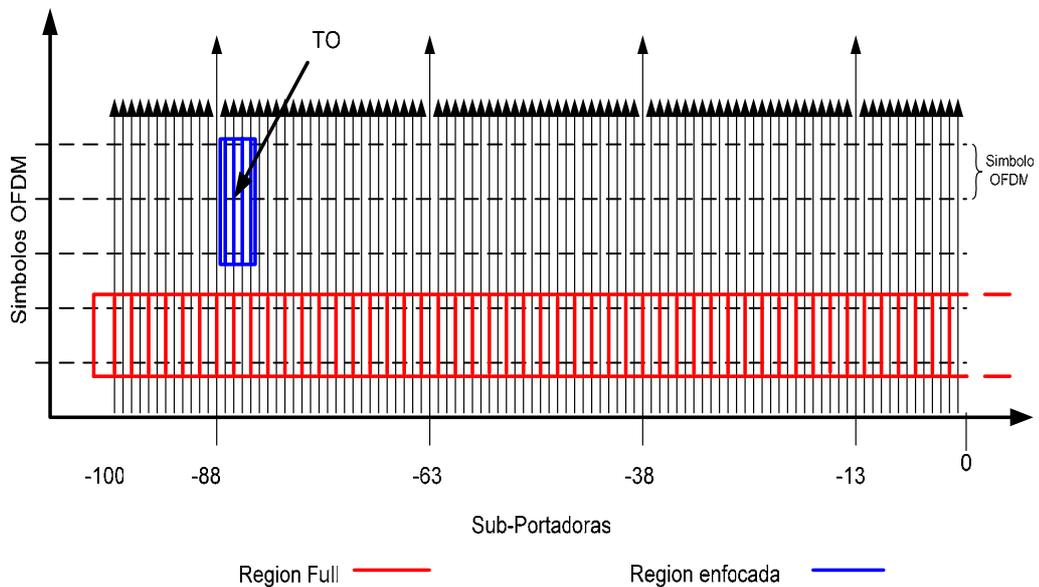


Figura 15. Regiones REQ y Oportunidad de transmisión TO.

La transmisión en región-full es descrita en el punto 4.2.3.1. En la transmisión en región-enfocada, la BS envía un mensaje mapa del uplink (UL-MAP) que contiene un código y un canal de contención de 4 sub-portadoras y las

oportunidades de transmisión que serán usadas por las SSs. Una vez que las SS son avisadas de la oportunidad de transmisión estas enviarán un mensaje UL-MAP con la cabecera de petición de ancho de banda. Todas las SSs deberán ser capaces de transmitir en región-full pero la transmisión en región-enfocada será opcional.

5.5.4. Control automático de potencia.

También conocido como Control de Potencia de Transmisión Adaptativo (ATPC), usa un algoritmo de control de potencia para hacer la calibración inicial del canal Uplink y el ajuste periódico de potencia sin que la capacidad del canal se vea afectada. El objetivo del algoritmo de control de potencia es llevar la densidad de potencia recibida de un suscriptor dado a un nivel deseado. La densidad de potencia recibida se define como la energía total recibida de un suscriptor dado dividido por el número de subportadoras activas.

Cuando no se emplea subcanalización, el número de subportadoras activas es igual para todos los suscriptores y el algoritmo de control de potencia llevará la potencia recibida total de un suscriptor dado al nivel deseado. La BS será capaz de proporcionar medidas exactas de potencia recibida de la señal de ráfaga. Este valor se puede entonces comparar contra un nivel de referencia, y el error que resulta se puede retornar a las SS en un mensaje de calibración de capa MAC. La puesta en práctica del algoritmo es específica de cada fabricante. El algoritmo de control de potencia considerará la interacción del amplificador de potencia RF con diversos perfiles de ráfaga. Por ejemplo, al cambiar de un perfil ráfaga a otro, los márgenes de potencia se deben mantener para prevenir la saturación del amplificador.

Cuando se emplea la sub-canalización, los SS mantendrán la misma densidad de potencia transmitida a menos que se alcance el nivel máximo de potencia. Es decir, cuando el número de sub-canales activos asignados a un usuario se reduce, la energía transmitida total será reducida o incrementada

proporcionalmente por los SSs, sin mensajes adicionales de control de potencia. Sin embargo, el nivel transmitido de potencia no excederá los niveles máximos dictados por consideraciones de la integridad de la señal y requisitos de los reguladores. Las SS divulgarán la potencia disponible máxima, y la potencia transmitida normalizada en el mensaje de negociación de capacidades SBC. La energía transmitida actual también será divulgada en el mensaje de reporte de medidas del canal (REP).

Como se ve en la figura 16 la red WiMAX tiene una o varias estaciones base centralizadoras que reciben transmisiones de otras BS que operan sobre enlaces punto multipunto de la red WiMAX. Se sugiere que esta BS centralizadora puede interconectarse con el Core IP de tres maneras. La primera es por medio de un enlace IEEE 802.16-2004 punto a punto con una BS localizada en la sede central de operador. La segunda es utilizando la convergencia con redes de paquetes por medio de interfaz E1/T1 (con conectores RJ-48c) la cual son conectadas a un enrutador (*router*) que interconecta con el Core IP por medio de enlaces TDM sobre enlaces PDH (*Plesiochronous Digital Hierarchy*), SDH (*Synchronous Digital Hierarchy*) o MPLS (*Multi-Protocol Label Switching*). También se pueden conectar por medio de interfaz Ethernet a un router Metro-Ethernet¹ o ATM para enlazar a la red ATM. La tercera manera, si es ofrecida por el equipo, es utilizando la convergencia ATM la cual es conectada directo a la red ATM del Core IP.

6.1.1. Wi-Fi.

La interconexión de WiMAX con redes WLAN (*Wireless Local Area Network*) basadas en Hotspots Wi-Fi IEEE 802.11x debe permitir un marco de aprovisionamiento y acceso para los servicios IP que son compatibles con la arquitectura de Hotspots Wi-Fi. Además permitir el ofrecimiento de servicios múltiples IP con cualidades tales como asignación de ancho de banda con acuerdo de nivel de servicio (SLA: *Service Level Agreement*) donde se especifican niveles de QoS y perfiles de cobro de tarifa. Finalmente incluir especificaciones de seguridad tales como el reuso de credenciales, autenticación bilateral con criptografía robusta y gestión de llaves de sesión a través de estas redes. La interconexión de Wi-Fi y WiMAX es primordial ya que permite la integración de las redes LAN y MAN inalámbricas, apostando en un futuro a redes total inalámbricas en la última milla [4].

¹ Son redes MAN basadas en la tecnología Ethernet, las cuales realizan transporte IP.

6.1.2. VoIP.

WiMAX como una tecnología que apunta a las redes de próxima generación, las cuales están orientadas a ser multiservicios, está en la capacidad de poder ofrecer telefonía basada en el empaquetado de la voz. Este servicio puede ser iniciado bien sea por terminales IP como por teléfonos IP o Softphone¹. En WiMAX la voz debe ser manejada por protocolos de empaquetado de la voz y de señalización que permitan orientar las llamadas entre redes con conectividad IP y redes de conmutación pública (PSTN).

Existen tres protocolos importantes para el establecimiento, mantenimiento y terminación de las llamadas: los protocolos de señalización IETF SIP (*Session Initiation Protocol*) y UIT H.323, y el protocolo de transporte en tiempo real (RTP: *Real Time Protocol*). Ambos protocolos SIP y H.323 cuentan con un equipo de red encargado de manejar la asignación, direccionamiento y señalización de las llamadas. Estas entidades son el SIP Proxy en redes basadas en SIP y el Gatekeeper en H.323. Ellos a su vez son interconectados con redes IP externas por medio enrutadores y a la red PSTN por medio de Media Gateway's (MG). En redes SIP, cuando las llamadas son hechas hacia o desde la PSTN, la señalización debe pasar por un SoftSwitch el cual se encarga de la gestión, direccionamiento y señalización. Este a su vez se conecta con los Media Gateway, que sirven de pasarela para las redes PSTN, con una conexión basada en el protocolo UIT H.248 o MEGACO (*Media Gateway Control*).

En WiMAX, los CPE están en la capacidad de empaquetar la voz utilizando diferentes codec como por ejemplo: UIT G.711, G.723, G.729, etc. Estos paquetes serán dirigidos por el enrutador ubicado en la BS centralizadora al SIP proxy o Gatekeeper correspondiente para ser manejados. En la figura 17 se muestra un diagrama donde se puede ver la interconexión de dos redes WiMAX con una red SIP.

¹ Softphone es un software que simula un teléfono IP, convirtiendo a una PC en un terminal telefónico.

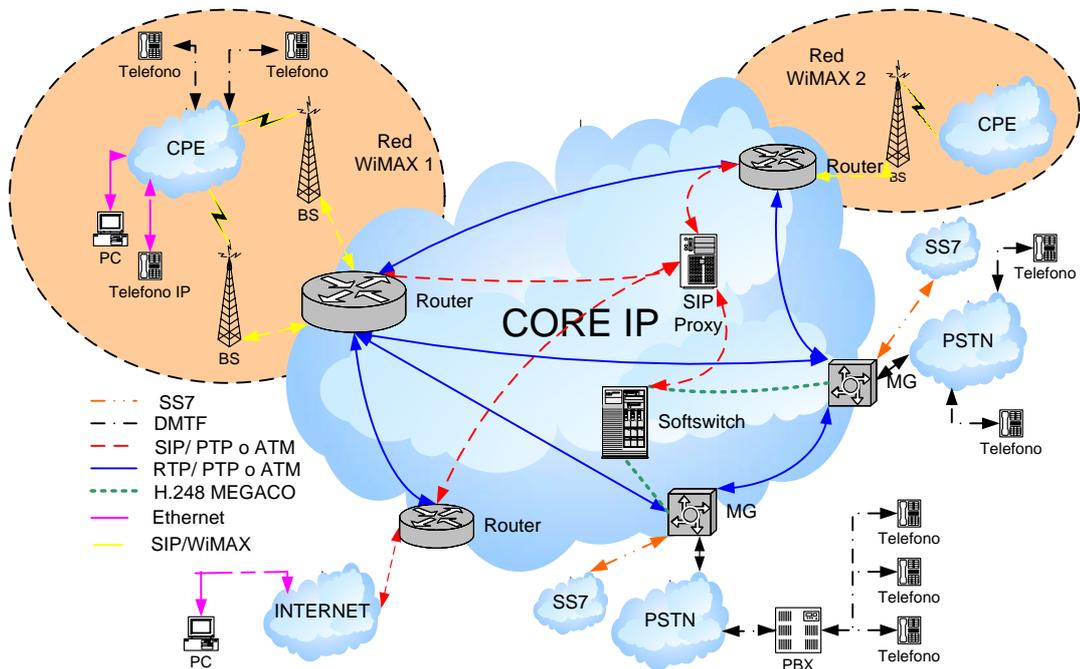


Figura 17. Diagrama de una red VoIP basada en SIP, interconectada con redes WiMAX y PSTN.

Tanto SIP como H.323 pueden ser implementados en redes backhaul PTP, creando una red VoIP totalmente inalámbrica. Ya que estos protocolos son basados en el empaquetamiento, WiMAX puede manejar conexiones de transporte rTPS para el transporte de voz empaquetada similar a los enlaces RTP y crear una conexión exclusiva para transportar los mensajes señalización SIP o H.323.

CAPITULO VII

DEFINICIÓN DE LOS ESCENARIOS A CONSIDERAR PARA EL DESPLIEGUE DE REDES WiMAX EN VENEZUELA POR PARTE DE MOVISTAR.

7.1. Bandas de frecuencia óptimas para prestar servicio WiMAX.

En el estándar IEEE 802.16-2004, se disponen para la operación de redes inalámbricas de acceso fijo y nómada, bandas por encima y por debajo de los 10 GHz. En una red de topología PMP en sectores urbanos y sub-urbanos las conexiones NLOS son imprescindibles, lo cual hace de las bandas por debajo de los 10 GHz idóneas para permitir este tipo de conexiones, debido a su naturaleza de onda más larga. El grupo de trabajo IEEE 802.16e propone para una aplicación futura de movilidad, el uso de las bandas por debajo de los 6 GHz, enfocándose en las bandas de 2.3 a 2.69 GHz, 3.5 GHz, 5.65 a 5.85 GHz y otras bandas que en un futuro serán tomadas en cuenta. En Venezuela por disposición de CONATEL, ente regulador de las telecomunicaciones, se disponen de las siguientes bandas mostradas en la tabla 3 para uso fijo inalámbrico y aficionado.

Tabla 3. Bandas de frecuencia disponibles para una posible implementación.

Banda (MHz)	Atribución	Nota de CONATEL ¹	Propuesta por WiMAX Forum ²
2300-2450	Fijo y Aficionado (Wi-Fi, 2.4GHz)	V.21	Para uso futuro
2500-2690	Fijo (MMDS)	V.22	Si
3300-3400	Aficionado		Para uso futuro
3400-3600	Fijo	V.23	Si
5650-5850	Fijo y Aficionado	V.26	Si

¹ CUNABAF (27-06-02) G.O. 5.592 Extraordinaria. [8].

² IEEE 802.16-2004 (Anexo B) [1].

En el 2001 TELCEL BELLSOUTH C.A, ahora Movistar Venezuela, se adjudicó sub-bandas para la transmisión a nivel nacional en la banda de 3.5 GHz en una subasta nacional, en donde se ofertaron tres pares de sub-bandas dispuestas en 5 regiones a nivel nacional. Cada atribución esta conformada por una sub-banda de 25 MHz para la transmisión y una de 25 MHz para la recepción, cuyas sub-bandas están separadas 100MHz y su canalización esta comprendida entre 1.75MHz a 14MHz.

Por esta razón, una posible implementación de WiMAX por parte de Movistar será realizada en la banda antes mencionada, con la ventaja de permitir niveles altos de potencia de transmisión y el control de las interferencias debido a que es una banda licenciada. Según la recomendación de la UIT-R F.1488 anexo I [5], se pueden emparejar dos sub-bandas para el funcionamiento dúplex por división de frecuencia (FDD) y se puede utilizar como sub-bandas independientes para el funcionamiento dúplex por división de tiempo (TDD). Esto indica que existe libertad al escoger el método de duplexing y el tipo de canalización a utilizar en las sub-bandas.

7.2. Características de Escenarios.

Para la aplicación de WiMAX, hay que definir escenarios que permitan diseñar y planificar futuras redes WiMAX. Estos escenarios permitirán estimar el alcance y la penetración de los posibles servicios a ser prestados en un mercado de banda ancha inalámbrico abastecido por esta tecnología. Los escenarios definen una serie de características dadas por las condiciones geográficas, demográficas y de propagación, en donde operarán las estaciones bases WiMAX, lo cual ayudará en el estudio de la cobertura. Con esto se podrán realizar estudios tecno-económicos que sirvan a los operadores, en caso particular Movistar Venezuela, dimensionar la red WiMAX que más se amolde a las expectativas del mercado de banda ancha.

7.2.1. Situación Geográfica.

La ubicación geográfica de una red WiMAX es muy importante a la hora de planear la cobertura de las estaciones bases, debido a que esta es una tecnología cuyo canal de comunicación es el aire. Muchos aspectos deben ser tomados en cuenta en una ubicación geográfica, como sus características de relieve (montañoso, llano, etc), vegetación (bosques, densidad de vegetación) y la presencia de edificaciones. El IEEE 802.16 clasifica tres tipos de geografías para el estudio de propagación de la señal, los cuales son definidos por el Modelo de Canal para Aplicaciones Inalámbricas Fijas aportado al grupo de trabajo IEEE 802.16 por Vinko Erceg [6]. En la tabla 4 se muestra los tres tipos de terreno y sus características.

Tabla 4. Tipos de terreno

Tipo de terreno	A	B	C
Densidad de Estructuras	Alto	Intermedio	Bajo
Topografía	Montañoso	Intermedio	Llano
Densidad de Vegetación	Alto (Bosques)	Medio a moderado	Moderado a escaso

7.2.2. Condiciones de Propagación.

Las condiciones de propagación son dependientes de la situación geográfica y al sector de la población donde se quiere implementar la red WiMAX. Existen efectos ambientales y externos que afectan la calidad de la señal en los diferentes enlaces de una topología PMP. Los efectos más influyentes son las pérdidas por propagación, el retardo multicamino, el desvanecimiento, el efecto Doppler y la interferencias por canal adyacente y co-canal.

La influencia de estos efectos varía según el tipo de enlace. Para redes MAN se considerarán dos tipos de enlace:

- Con línea de vista (LOS): Es cuando el 60% del primer elipsoide de Fresnel esta libre de cualquier obstrucción y las antenas están perfectamente alineadas.
- Sin línea de vista (NLOS): Este tipo de enlace ocurre cuando el 1er elipsoide de Fresnel esta parcial o totalmente obstruido. La señal recibida por el receptor llega por camino reflejados, energía dispersa y por difracción.

Términos manejados por los fabricantes como línea de vista óptica (OLOS), caso cuando la antena rectora es simplemente visualizada óptimamente o cercano a la línea de vista (near-LOS) que es cuando la antena transmisora y receptora no esta perfectamente alineadas, son casos particulares de la transmisión sin línea de vista.

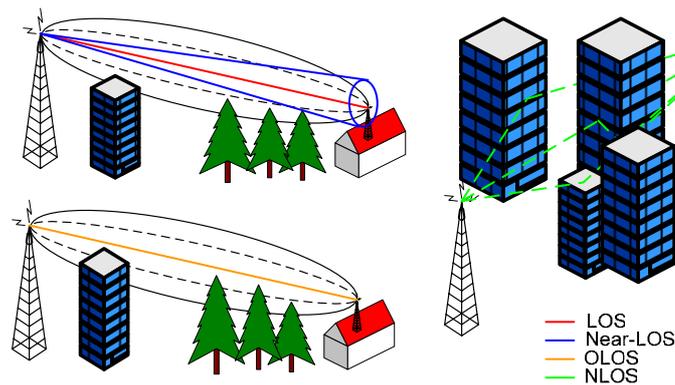


Figura 18. Tipos de enlace.

Las condiciones de propagación para enlaces NLOS han sido clasificadas por una modificación realizada al Modelo de Canal para Aplicaciones Inalámbricas Fijas mencionado en el punto 6.2.1, aportada por el Stanford University Interim al grupo de trabajo IEEE 802.16, el cual define seis modelos de canal llamados los modelos SUI [6]. Estos modelos además de considerar las pérdidas por propagación, definen el parámetro retardo expandido (spread delay RMS) para pérdidas por retardo multicamino, el factor K para pérdidas por desvanecimiento, la frecuencia en donde ocurre la máxima dispersión por efecto Doppler representada por su densidad

espectral de potencia y otros factores. En tabla 5 se clasifican los modelos según el tipo de terreno y en la tabla 6 se muestra por sus características de propagación.

Tabla 5. Modelos SUI clasificados por tipo de terreno.

Tipo de terreno	Modelo SUI
A	SUI-5 Y SUI-6
B	SUI-3 Y SUI-4
C	SUI-1 Y SUI-2

Tabla 6. Modelos SUI clasificados por sus características de propagación.

Modelo	Desvanecimiento	Dispersión	Retardo Multicamino
SUI-1	Alto	Bajo	Bajo
SUI-2	Moderado	Bajo	Bajo
SUI-3	Bajo	Bajo	Bajo
SUI-4	Bajo	Alto	Moderado
SUI-5	Bajo	Bajo	Alto
SUI-6	Bajo	Alto	Alto

7.2.3. Sectores de la Población.

Para la implementación de una red, es importante tomar en cuenta la cantidad de usuarios potenciales que contratarán con los diferentes servicios a ser ofrecidos por WiMAX. Estos sectores, son diferentes situaciones demográficas caracterizadas por densidad de población la cual viene dada por la cantidad de usuarios por km². Esta característica es un importante indicador para el diseño de las estaciones bases. Según el WiMAX Forum se definen cuatro tipos de zonas demográficas [7] o sectores de la población, cuya clasificación es aplicable a la distribución de la población en Venezuela. Los sectores son los siguientes:

- *Urbano*: es un área de alta densidad de población, generalmente dispuestos en edificios altos o de alturas promedio en zonas metropolitanas. Este tipo demanda la instalación de más estaciones bases debido a que las condiciones

de propagación son muy adversas (tipo A¹). Estas zonas son las de mayor expectativa de penetración.

- *Sub-Urbano*: se caracteriza por ser un sector de densidad de población moderada a alta ubicadas en las afueras de las ciudades generalmente en casas o edificios bajos o de altura promedio (tipo B), que posiblemente no están abastecidos por redes cableadas debido que están alejadas de las centrales de operadores de redes cableadas, lo cual hace de estas zonas un mercado penetración moderada pero de segura implementación por ser estas desabastecidas de servicios banda ancha.
- *Ex-Urbanos*: están conformadas por concentraciones de usuarios de poder de ingresos generalmente alto, ubicados en urbanizaciones alejadas de las ciudades, formadas principalmente por casas dispersas (tipo C). Este tipo podría ser un mercado seguro de para WiMAX ya que es muy posible que estén totalmente desabastecidos de servicios banda ancha cableados.
- *Rurales*: son sectores distanciados de las ciudades con baja densidad de población, cuyas casas están muy dispersas. Generalmente estas áreas son totalmente desabastecidas por las operadoras de servicios por cableado terrestre, ya que la instalación de estos servicios son poco rentables. Al igual que los sectores Ex-Urbanos, estas son un mercado seguro para WiMAX.

7.2.4. Sectorización de Estaciones Bases.

En el diseño y planificación de una red WiMAX hay que considerar la división de la cobertura de una celda en sectores para de esta manera hacer un uso más eficiente del espectro asignándole un canal específico a cada sector permitiendo el reuso de frecuencias. Las estaciones bases se pueden sectorizar en grupos de 4 o más sectores, cada sector con una antena y su radio operando en un canal específico de la banda de frecuencia asignada. Las estaciones bases tienen también la capacidad

¹ Ver tabla 4.

de redundancia de operación donde un radio de respaldo sustituye cualquier radio de la celda en caso de falla (N:1) y además otro radio de respaldo adicional sirve para sustituir el radio encargado de la señalización. De esta manera se asegura la continuidad del servicio en el sector que fue afectado y ofrecerá al operador facilidad para resolver las averías. Otra ventaja de la sectorización es permitir un crecimiento gradual de la celda a medida que el número de suscriptores aumente y también hacer flexible el diseño en zonas donde la cobertura omni no es conveniente. En la figura 19 se muestra la configuración para 4 sectores con redundancia N:1 y una planeación de reuso de frecuencias para tres estaciones bases de 6 sectores. Para la planeación de la red, se considera que los usuarios estarán dispersos en un sector, el cual es una fracción de la cobertura omnidireccional de la estación base. Estas posibles configuraciones son clasificadas en la tabla 7.

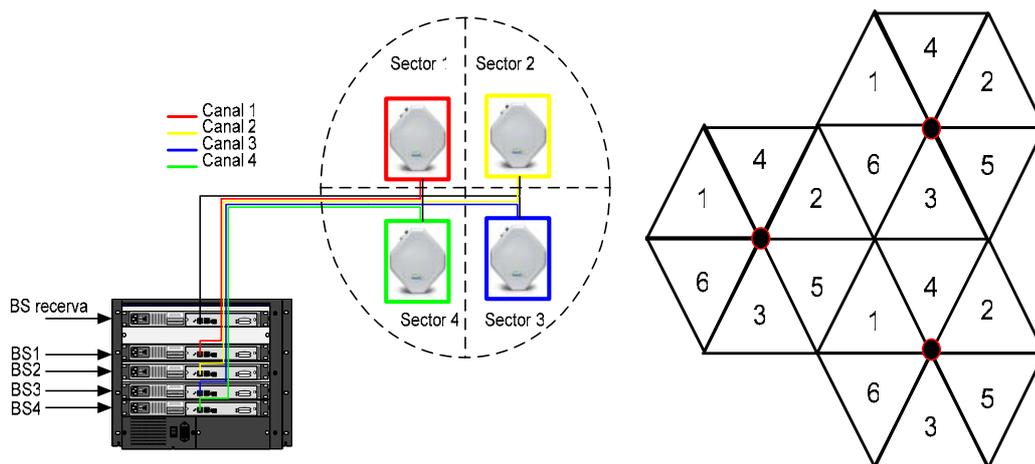


Figura 19. Sectorización de Estaciones Base.

Tabla 7. Configuración de estaciones base de 4 y 6 sectores.

Configuración	Para cuatro sectores	Para seis sectores
Mínima	1	1
Media	2	3
Máxima	4	6

7.2.5. Tipos de Usuarios.

Esta característica define los segmentos del mercado en que se dividirá el ofrecimiento de servicios de banda ancha inalámbrica. Los tipos de usuarios son clasificados de la manera siguiente:

- *Residenciales*: Son todos aquellos usuarios particulares que habitan edificios o casas.
- *Oficina en casa y oficina particular (SOHO)*: son usuarios particulares o jurídicos, que trabajan en sus oficinas o usan su residencia como lugar de trabajo.
- *Pequeñas y medianas empresas (PYMES)*: Son grandes recintos que cuentan con múltiples usuarios conectados a redes LAN, los cuales demandan mayor ancho de banda.

7.2.6. Tipos de Servicios.

WiMAX es una tecnología orientada al ofrecimiento de múltiples servicios donde estos servicios serán definidos por el ancho de banda del canal que estos ocupan, por la QoS necesaria para prestarlos y por el factor de simultaneidad (OverBoking) el cual es un indicador del reuso del servicio. Estos parámetros son importantes a la hora del dimensionamiento de la red. Los servicios más conocidos y que los usuarios en la actualidad más demandan, son los siguientes:

- *Internet banda ancha*: es el principal servicio de WiMAX, ofrecido a usuarios residenciales y SOHO. Este puede ser prestado en diferentes planes con calidad de servicio Best Effort, en el que se define un valor de CIR y MIR, y un factor de reuso de 20:1 [9]. El tráfico ofrecido contará con capacidades suficientes para la descarga de archivos grandes y la reproducción de video

stream de calidad aceptable (sin errores de imagen, que el audio este sincronizado con la secuencia de imágenes, etc).

- *Telefonía básica:* esta puede ser ofrecida como líneas telefónicas convencionales (POTS) o VoIP. La telefonía demanda una excelente calidad de servicio (UGS o rtPS). Las operadoras deberán ofrecer conexiones dinámicas que ofrezcan ancho de banda dedicados con un factor de reuso definido por el volumen de tráfico de voz (erlangs), además de la creación de conexiones independientes para la señalización.
- *Servicios dedicados:* son servicios contratados particularmente solicitados por PYMES, puntos de acceso público (Hot Spot Wi-Fi) o condominios. Estos servicios definen conexiones dedicadas con ancho de banda fijado a un valor CIR=MIR con factor de reuso de 1. Estos pueden ser ofrecidos en la forma de E1/T1 o E1 fragmentado (nx64).

7.3. Escenarios posibles para prestar servicios WiMAX por parte de Movistar Venezuela.

Se propone para la implementación de WiMAX un escenario primario, el cual será considerado para un despliegue inicial de la red y escenarios secundarios para la aplicación futura de nuevos servicios una vez que se haya consolidado la red en el mercado de banda ancha.

7.3.1. Escenario primario.

Se contemplará la implementación de una red de banda ancha inalámbrica basada en la tecnología WiMAX para, en un primer momento, prestar servicio de Internet no dedicado a usuarios fijos o nómadas utilizando el espectro del que dispone Movistar Venezuela en la banda de 3.5 GHz.

Este servicio estará orientado a sectores de la población urbanos y sub-urbanos enfocados en usuarios residenciales y SOHO que aspiran a tener servicios de Internet, convirtiendo a esta red en una opción más en el mercado de servicios de banda ancha. Los subscriptores estarán organizados por planes de acuerdo al ancho de banda máximo que les sea permitido (MIR en Kbps). De acuerdo a cada plan, existe una tasa de transmisión mínima que deberá ser garantizada para cada subscriptor (CIR en Kbps). En la tabla 8 se muestra la distribución porcentual de usuarios según la capacidad asignada. Estos planes serán ofrecidos con una calidad de servicio Best Effort y un reuso de canal de 20:1.

Tabla 8. Planes para prestar servicios de banda ancha.

Capacidad máxima (MIR Kbps)	Mínimo a Garantizar (CIR Kbps)	Porcentaje de usuarios ¹
384	64	80%
512	128	15%
1024	384	5%

Basado en estos planes y en las perspectivas de penetración del mercado podemos construir una gráfica que nos indique cual es la capacidad de transmisión necesaria para prestar estos servicios en un sector de la estación base, llamada Densidad de Datos. Con la ecuación (2) podemos calcular la densidad de datos según el número de usuarios y el porcentaje de penetración [9]. En la grafica de la figura 20 se muestra la densidad de datos versus el número de usurarios en un sector con perspectivas de penetración de 2, 5, 10 % con los valores especificados en la tabla 8.

$$\frac{Mbps}{Km^2} = \frac{\sum_{i=1}^{N^{\circ} planes} \frac{Capacidad\ de\ datos(kbps)(i) * \%usuarios(i)}{factor\ de\ reuso(i)}}{1000} * \%penetracion * N^{\circ} usuarios \quad (2)$$

¹ Distribución aproximada de usuarios que actualmente utilizan servicios de banda ancha con la tecnología WLL en la banda de 3.5 GHz en la Ciudad de Caracas.

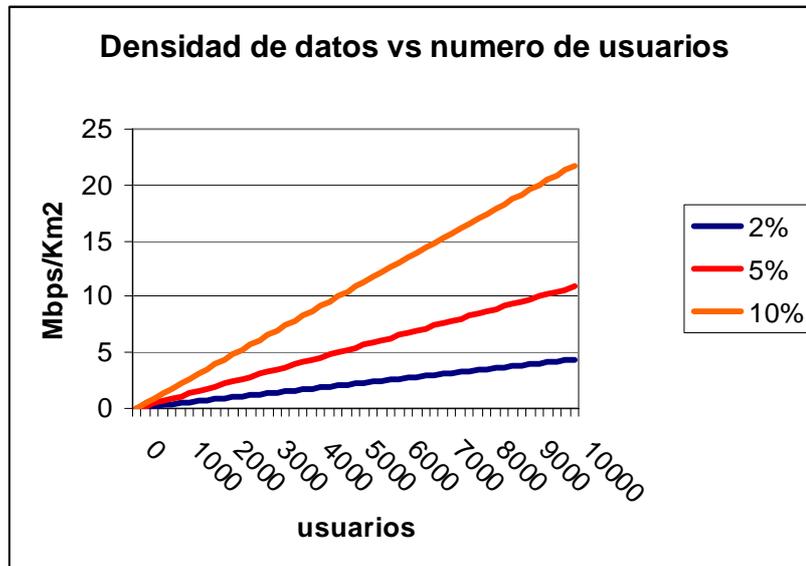


Figura 20. Densidad de datos vs usuarios.

Con ayuda de esta gráfica, las especificaciones de capacidad efectiva contra distancia y el área a la que se le quiere dar servicio, se puede dimensionar la red WiMAX punto multipunto. Además de esto se puede tener un estimado del aprovisionamiento de red transporte necesario para llevar los datos de esta red.

7.3.2. Escenarios Secundarios.

Una vez posicionada la red WiMAX se plantean escenarios futuros o secundarios en donde se presten servicios como telefonía básica y servicios de banda ancha dedicados a usuarios comerciales.

El servicio de telefonía básica será ofrecido principalmente a futuros usuarios que cuenten con el servicio de Internet banda ancha y a centros de conexión ubicados en zonas desabastecidas de servicios de telefonía e Internet. Se deberá contar con una porción del ancho de banda del canal dedicado al transporte de paquetes de voz, con una calidad de servicio comparada a las exigidas en servicios de

tiempo real (UGS para voz sin supresión de silencio o rtPS con supresión) y con un factor de reuso equivalente el volumen de tráfico de voz (erlang) por suscriptor. También se creará conexiones adicionales de transporte para llevar mensajes de señalización SIP. Este servicio será ofrecido como un plan adicional a los planes presentados en el escenario primario y para su dimensionamiento se estimará el porcentaje de usuarios que utilizara el servicio de telefonía del universo total. Una estimación inicial es utilizar canales de 64kbps con un factor de reuso de 4:1¹ por línea telefónica.

Otros planes mas orientados al mercado comercial y empresarial son los servicios dedicados los cuales ofrecen conexiones de T1 y E1 con factor de reuso de 1 (MIR=CIR). Se deberá contar con un canal adicional por sector para dar servicios de esta naturaleza, debido a que demanda gran cantidad de ancho de banda y no podrán coexistir con servicios prestados a usuarios residenciales.

La aplicación de estos planes esta orientado a la pequeña y mediana empresa, a *Wi-Fi Hot Spot* los cuales se ubicarán en recintos públicos y centros de conexión en zonas sub-urbanas. También este servicio será prestado en condominios donde existen redes DSL ya instaladas conectadas a un multiplexor DSLAM que ofrecen servicios de telefonía analógica y/o Internet banda ancha, ubicadas en edificaciones con múltiples abonados digitales. Estos están actualmente enlazados al Core IP de Movistar por enlaces de microondas que utilizan el espectro asignado en la banda de 3.5 GHz ahorrando costos y espacio en la estaciones bases existentes.

¹ Factor de reuso especificado por el modelo de negocio realizado por el WiMAX Forum para las bandas de 2.5 y 3.5 GHz [9].

CAPITULO VIII

PROTOCOLO DE PRUEBAS.

8.1. Propósito de las pruebas.

Con el fin de servir de ayuda en la selección de una solución para la implementación de una red de banda ancha inalámbrica fija basada en la tecnología WiMAX (IEEE 802.16-2004) aplicada al escenario primario descrito en el punto 7.3.1, se realizarán las siguientes pruebas, las cuales evaluarán aspectos técnicos y operacionales de los elementos que conforman las soluciones en las condiciones de propagación y situación geográfica de la zona metropolitana de la ciudad de Caracas.

8.2. Solicitud de información.

Antes de la realización de las pruebas, se deberá solicitar a los fabricantes que tengan en disponibilidad soluciones certificadas WiMAX información sobre características tales como alimentación, procesamiento de la señal, funciones de control de acceso, capacidades de red, mecanismos de calidad de servicio, características mecánicas, resistencia a condiciones ambientales, gestión, y las interfaces que soportan. Estas características servirán para hacer un estudio técnico de los equipos a la hora de la evaluación de las soluciones. Las características serán ordenadas por: propias del sistema, de capa física, de capa MAC, atributos de red, estándares y normas. De forma separada se mostrarán los requerimientos necesarios con lo que deben contar los sistemas de gestión. En las tablas A1.1 y A1.2 se muestra una recopilación de características con las que deben contar los elementos que conforman las soluciones WiMAX.

8.3. Aspectos y criterios para la evaluación.

Los aspectos y criterios de evaluación a ser considerados en el protocolo de pruebas son los siguientes:

- Se evaluará las características del hardware contenido en las soluciones, que puedan ser favorables o desfavorables al momento de su instalación.
- Se cotejará las características a nivel de facilidades para la configuración y puesta en marcha de las conexiones en cada una de las instalaciones.
- Se hará mediciones de cobertura, capacidad efectiva y calidad del canal en diferentes situaciones con distintas condiciones de propagación y distancias.
- Se verificará la configuración y cumplimiento de los parámetros de tráfico QoS asociados a los servicios de planificación.
- Se examinará el comportamiento de las soluciones a nivel de capa de aplicación enfocándose en pruebas de calidad y apreciación en aplicaciones de Internet.
- Evaluación de las funcionalidades de gestión de red y sus interfaces de gestión.

8.4. Consideraciones generales para las pruebas.

- Será considerado un acceso de banda ancha fijo o nómada aquel cuyo CPE tiene una posición constante durante el establecimiento y permanencia de la conexión.
- Será una prueba “*Sin línea de vista (NLOS)*” aquella donde no se tiene vista de la antena de la estación base desde la posición del CPE. Ejemplo, establecer conexiones en lugares donde haya obstrucción como edificios o árboles o también estar en recintos cerrados. Los enlaces cercanos a la línea de vista también se incluyen en esta consideración.

- Será una prueba “*in-door*” aquella donde el CPE esta totalmente dentro de un recinto que no este bajo tierra. Ejemplo, dentro de casas, apartamentos, centros comerciales. No será prueba in-door si el CPE esta dentro de un vehículo.
- Se considerará que las soluciones presentadas cumplen con la certificación del WiMAX forum a nivel de capa MAC en cuanto a los protocolos de inicialización, señalización, gestión, procedimientos de conexión y seguridad. Por lo tanto estas especificaciones serán transparentes a este protocolo de pruebas y no se evaluarán, pero en caso de reportes de fallas o comportamiento anormal en el establecimiento y permanencia de las conexiones, serán tomadas en cuenta y serán documentadas como observaciones finales en la prueba donde estas han tenido lugar.
- La Capacidad neta C_{neta} vendrá dada por la ecuación (3):

$$C_{neta} = \frac{200 * b_m * c_r}{T_s} \quad (3)$$

Donde:

- 200 sub-portadoras transmiten potencia en WirelessMAN-OFDM
- b_m es el número de bits por símbolo modulado.
- c_r tasa de codificación total utilizada por el perfil de ráfaga.
- T_s tiempo del símbolo OFDM según el tamaño del prefijo cíclico T_g más el tiempo útil T_b utilizado en cada perfil de ráfaga.

A continuación se muestra en las tablas 9 y 10 la tasa de transmisión de datos neta para canales de 1.75 MHz y 3.5 MHz según el tamaño de prefijo cíclico T_g y perfil de ráfaga utilizado.

Tabla 9. Capacidad neta de un sector para un canal de 1.75 MHz (Mbps).

C_{neta} (Mbps)	Perfil de Ráfaga (modulación/tasa de codificación total)						
T_g	BPSK 1/2	QPSK 1/2	QPSK 3/4	16QAM 1/2	16QAM 3/4	64QAM 2/3	64QAM 3/4
$Tb/32$	0,7272	1,4545	2,1818	2,9091	4,3636	5,8181	6,5454
$Tb/16$	0,7058	1,4117	2,1176	2,8235	4,2352	5,6471	6,3529
$Tb/8$	0,6666	1,3333	2	2,6666	4	5,3333	6
$Tb/4$	0,6	1,2	1,8	2,4	3,6	4,8	5,4

Tabla 10. Capacidad neta de un sector para un canal de 3.5 MHz (Mbps).

C_{neta} (Mbps)	Perfil de Ráfaga (modulación/tasa de codificación total)						
T_g	BPSK 1/2	QPSK 1/2	QPSK 3/4	16QAM 1/2	16QAM 3/4	64QAM 2/3	64QAM 3/4
$Tb/32$	1,45454	2,9091	4,3636	5,8182	8,7273	11,6364	13,0909
$Tb/16$	1,4117	2,8235	4,2352	5,6471	8,4706	11,2941	12,7058
$Tb/8$	1,3333	2,6667	4	5,3333	8	10,6667	12
$Tb/4$	1,2	2,4	3,6	4,8	7,2	9,6	10,8

Estos valores serán considerados como valores ideales de referencia para evaluar las mediciones de capacidad efectiva según el perfil de ráfaga utilizado y el tamaño de prefijo cíclico, pero no serán tomados como norma ya que no consideran los efectos de propagación ni los retardos de procesamiento. El valor calculado para un prefijo cíclico de 1/32, modulación 64QAM y codificación 3/4 se considerará como la tasa de transmisión de datos máxima del canal ideal.

- Las pruebas aplicarán para los métodos de duplexing FDD y TDD.
- Se hará uso del intercambio de mediciones de potencia de transmisión y capacidades de canal entre los CPE y la estación base, estipulado en la capa física del estándar IEEE 802.16-2004 para medir los parámetros de calidad de canal y perfil de ráfaga mediante el monitor de estatus del software de gestión de la solución.
- Se deberán definir lugares predeterminados para la realización de las pruebas de manera que cumplan con los requerimientos de equipos indoor.

- **Responsabilidades del proveedor:**
 - Deberá suministrar todas las herramientas e instrumentos de medición necesarios para la realización de las pruebas.
 - Deberá realizar barridos de frecuencias en aquellas localidades donde se instale la estación base y los equipos terminales, de modo de seleccionar una frecuencia que no interfiera a servicios en operación.
 - Deberá suministrar los manuales técnicos del producto, como por ejemplo: Manuales de instalación, administración y operación. Estos manuales serán requeridos para verificar funciones en el sistema que no podrán ser probados, de no poseerlos se asumirá que no se encuentra disponible.
 - La participación del proveedor deberá ser activa durante la instalación, configuración y pruebas, etc
 - El proveedor deberá dictar una charla relacionada con el producto y la topología implementada antes de iniciar las pruebas.
- **Responsabilidades de Movistar Venezuela:**
 - Asignar y adecuar los espacios físicos donde serán instalados los equipos pertenecientes a la estación base.
 - Asignar los recursos en la red necesarios para probar los servicios, al respecto se otorgara ancho de banda en la red transporte, acceso al ISP, acceso a la central conmutada.
 - Coordinar la logística de acceso y asignación de permisología en las instalaciones de Movistar Venezuela y de los clientes seleccionados para las pruebas.
 - Seleccionar las personas que servirán de evaluadores y los usuarios que participaran en las pruebas

8.5. Elementos utilizados en las pruebas.

- Una Estación Base con configuración de 4 o más sectores.

- Al menos cuatro (4) equipos terminales indoor.
- Un PC para el sistema de gestión y dos por cada CPE.
- Un concentrador (Hub).
- Un Router.
- Un servidor FTP.
- Equipo GPS.
- Un analizador de espectro.
- Un generador de tramas WirelessMAN-OFDM.
- Un generador de señal vectorial banda base.
- Un analizador de señal vectorial (VSA, *Vector Signal Analyzer*).
- Software de gestión y configuración de los equipos que conforman la solución.

8.6. Arquitectura general del sistema a ser probado.

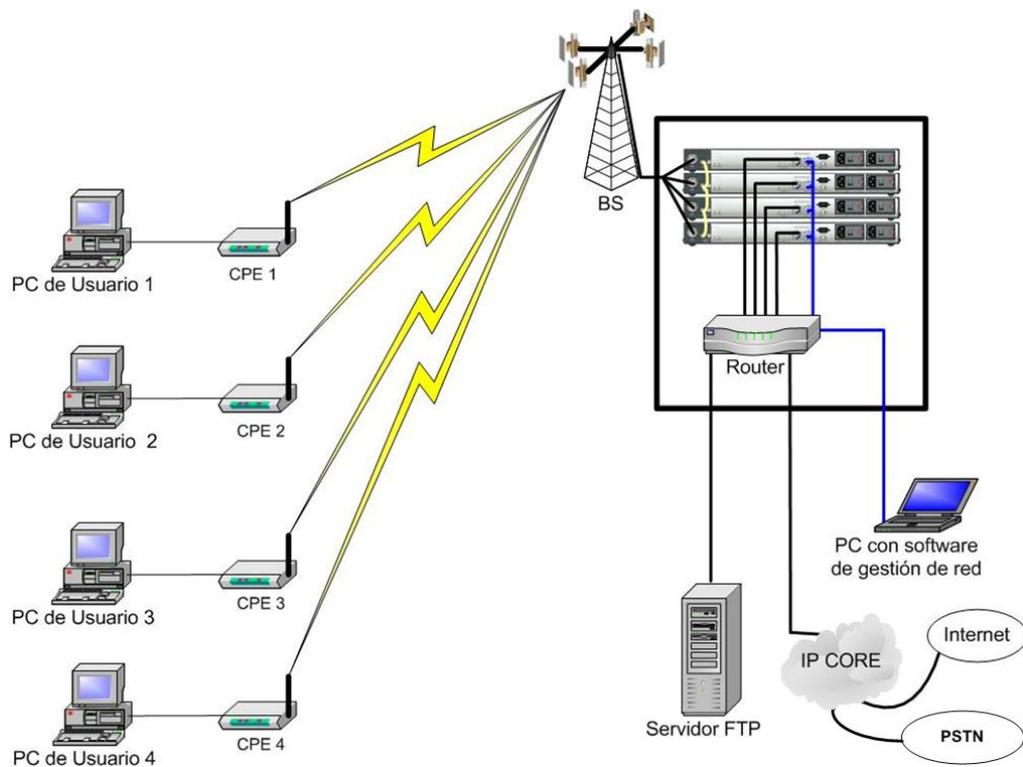


Figura 21. Topología de la red a ser probada.

8.7. Pruebas Técnicas.

Estas pruebas serán realizadas para verificar los parámetros de transmisión RF más importantes definidos por el estándar IEEE 802.16-2004 para asegurar la transmisión y la recepción de la estación base y los equipos terminales indoor. Además se verificarán la capacidad efectiva del sistema y el cumplimiento de los parámetros de tráfico.

8.7.1. Requerimientos.

- Se utilizará un CPE in-door debidamente instalado y configurado.
- Esta prueba será sin línea de vista y será realizada en recintos cerrados previamente definidos.
- La estación base y los equipos CPE deberán ser monitoreados y configurados de forma remota con el software de gestión de la solución.
- La Estación base contará con un servidor de red para generar tráfico FTP.
- Se necesitará dos PC y un concentrador para establecer las conexiones junto con el equipo terminal.
- Se cargará en el servidor FTP tres archivos de 10000, 30000 y 50000 kbytes.
- Se instalará un software de transferencia FTP en la PC destino y en el servidor de la estación base.
- Se realizarán las pruebas en posiciones distintas, en lo posible, equidistantes entre ellas que no superen los 2 km.

8.7.2. Prueba de verificación de perfil de ráfaga y BER.

8.7.2.1. Objetivo de la prueba

En esta prueba se quiere verificar a que perfil de ráfaga está trabajando el equipo terminal en un sitio ubicado a una distancia determinada de la estación base.

También se quiere verificar que el sistema mantiene los valores de BER menores o iguales a 10^{-6} [1].

8.7.2.2. Esquema de la prueba.

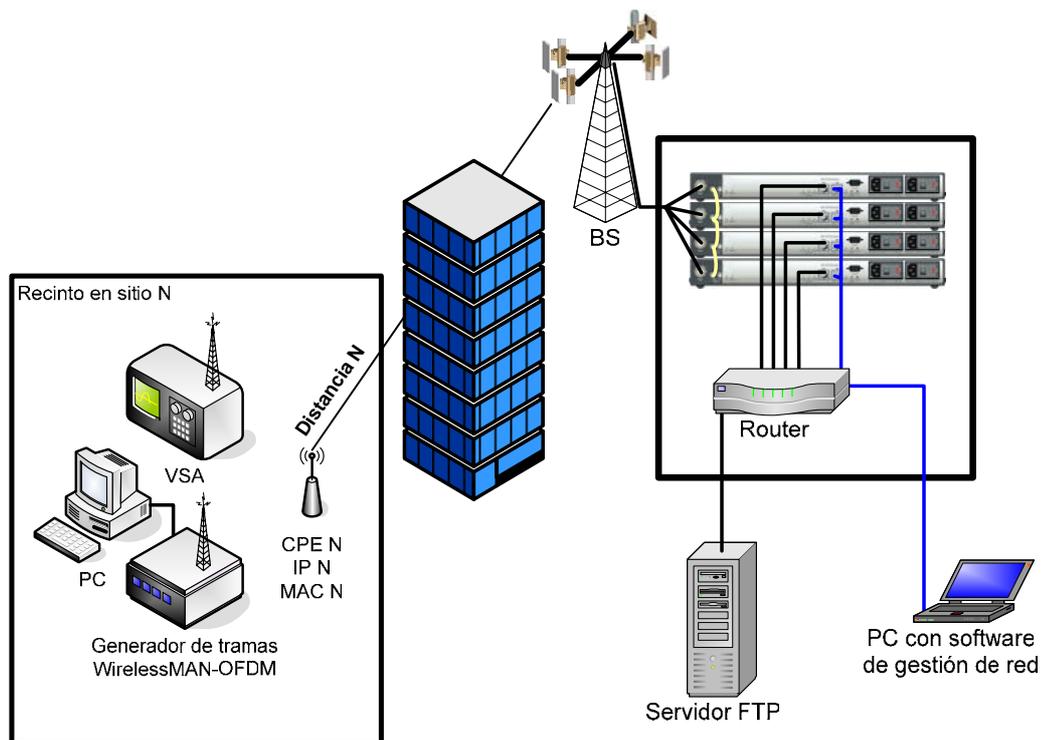


Figura 22. Esquema de pruebas de verificación de perfil de ráfaga y BER

8.7.2.3. Procedimiento.

- Verifique con el monitor de estatus del CPE el perfil de ráfaga utilizado.
- Configure el VSA para la modulación indicada por el perfil de ráfaga mostrado por el monitor de estatus del equipo terminal. Mida el error de constelación relativo (RCE, Relative Constellation Error) el cual es el error relativo promedio de todas las sub-portadoras, tramas OFDM, y paquetes. Verifique la medida con los valores definidos para cada perfil de ráfaga mostrados en la tabla A2.1.

- Configure el generador de tramas WirelessMAN-OFDM con las especificaciones RF mostradas en la tabla A2.2 para el perfil de ráfaga mostrado en el monitor de estatus. Transmita cada uno de los tres mensajes de prueba definidos por el IEEE 802.16-2004 para cada modulación mostrados en la tabla 11 y mida en el software de gestión de la estación base el valor de BER el cual debe ser menor a 10^{-6} .

Tabla 11. Mensajes de prueba para la medición de sensibilidad y BER [1].

Señal de prueba	Carga útil	Mensaje corto (288 bytes de datos) N° de repeticiones	Mensaje medio (864 bytes de datos) N° de repeticiones	Mensaje largo (1536 bytes de datos) N° de repeticiones
S _{bpsk}	[0xE4,0xB1]	144	432	768
S _{qpsk}	[0xE4, 0xB1, 0xE1, 0xB4]	72	216	384
S _{16qam}	[0xA8, 0x20, 0xB9, 0x31, 0xEC, 0x64, 0xFD, 0x75]	36	108	192
S _{64qam}	[0xB6, 0x93, 0x49, 0xB2, 0x83, 0x08, 0x96, 0x11, 0x41, 0x92, 0x01, 0x00, 0xBA, 0xA3, 0x8A, 0x9A, 0x21, 0x82, 0xD7, 0x15, 0x51, 0xD3, 0x05, 0x10, 0xDB, 0x25, 0x92, 0xF7, 0x97, 0x59, 0xF3, 0x87, 0x18, 0xBE, 0xB3, 0xCB, 0x9E, 0x31, 0xC3, 0xDF, 0x35, 0xD3, 0xFB, 0xA7, 0x9A, 0xFF, 0xB7, 0xDB]	6	18	32

- Si los valores medidos son correspondientes, entonces el perfil de ráfaga utilizado por las mediciones es el utilizado por la estación base para la transmisión, sino existe un error en el intercambio de mensajes descriptores de canal entre la BS y la SS. Anote el valor de BER, error de constelación y perfil de ráfaga en la tabla A3.1 para cada uno de los sitios donde se realizaron las experiencias.

8.7.3. Capacidad efectiva y Mediciones de calidad del canal.

8.7.3.1. Objetivo de la prueba.

Esta prueba servirá para recopilar y verificar información sobre la capacidad efectiva y parámetros de transmisión del canal. En esta prueba se recopilará los siguientes datos:

- Nivel de CINR y RSSI.
- Rango de cobertura de la estación base y distancia a la que se mantienen los perfiles de ráfaga y la capacidad efectiva (Mbps) en condiciones NLOS.

8.7.3.2. Esquema de la Prueba.

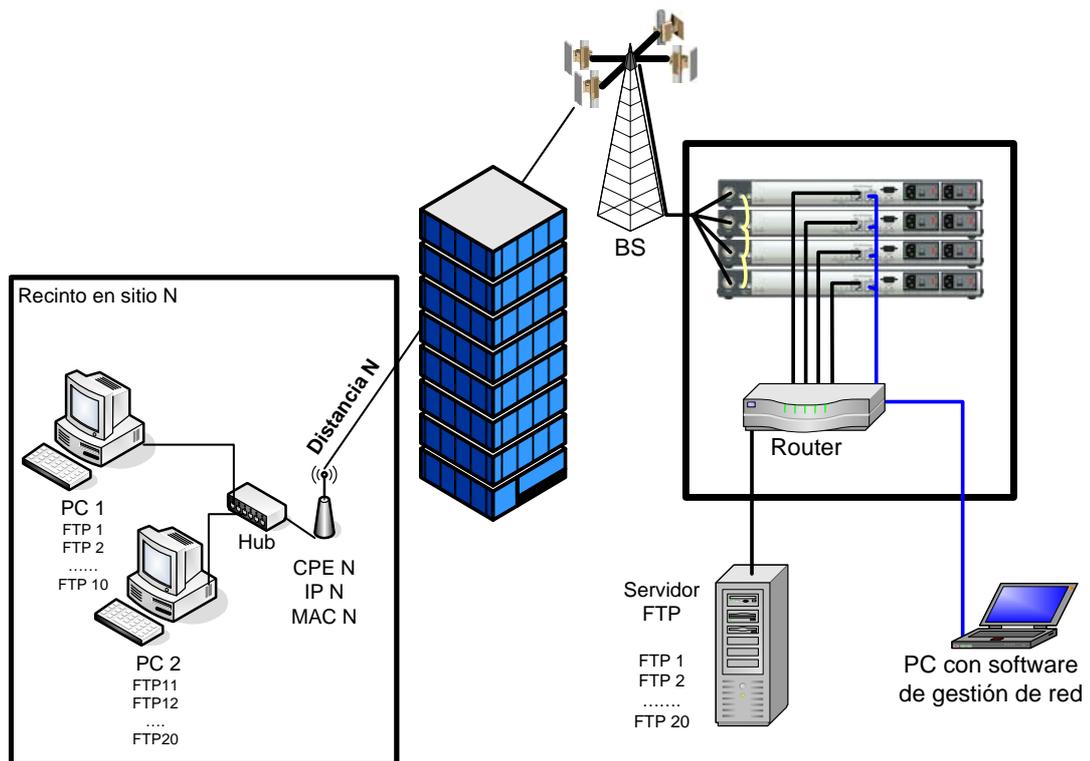


Figura 23. Esquema de la prueba capacidad efectiva y mediciones de calidad del canal.

8.7.3.3. Procedimiento.

- Por medio del software de configuración remota se fijará el tamaño del prefijo cíclico en 1/32 y el MIR equivalente a la tasa de transmisión de datos máxima neta especificada por las tablas 14 y 15 según sea el tamaño del canal utilizado para la conexión.
- Se ubicarán no menos de 8 sitios con condiciones indoor, separados de forma equidistante, donde la posición más alejada no supere los 2 km.
- Ubique en el sitio elegido, el lugar donde el indicador de nivel de señal del equipo muestra el nivel de señal más elevado.
- Conecte el CPE indoor y las PC al concentrador, alimente el CPE, encienda el equipo y establezca la conexión.
- Si el equipo se conecta continúe con la prueba, si no cancele.
- Verifique el software de gestión instalado en el PC ubicado en la estación base, si el equipo aparece asociado a la estación base.
- Si el equipo no aparece registrado verifique la situación.
- Tome nota de la ubicación del CPE indoor con el GPS.
- Utilizando la herramienta de monitoreo del software de gestión, Tome nota de los valores de CINR, RSSI, y perfil de ráfaga utilizado para esa posición.
- Una vez realizado el punto anterior, Proceda a la transferencia de archivos. Para cada PC inicie 10 sesiones FTP las cuales se utilizarán para enviar cada uno de los tres archivos previamente definidos.
- Primero envíe en cada sesión FTP, cada uno de los tres archivos alojados en el servidor ubicado en la estación base al equipo terminal (uno a la vez), promedie los tiempos de transferencia de cada sesión para cada uno de los archivos. Estos tiempos serán los del Downlink. Calcule la capacidad de transferencia.

- Después envíe de las PC destino los tres archivos por las sesiones FTP al servidor siguiendo el mismo procedimiento indicado en el punto anterior. Estos tiempos serán los del Uplink. Calcule la capacidad de transferencia.
- Terminadas las mediciones, continúe con los siguientes sitios y realice el mismo procedimiento anterior. Es importante tratar que las mediciones se realicen en todos los sitios escogidos.
- Anote todos los datos en la tabla A3.1. por cada sitio.

8.7.4. Análisis de datos.

Terminadas las pruebas, tome los datos recolectados en cada sitio y llene la tabla A3.2 con los resultados definitivos. Los datos deberán ser ordenados de menor a mayor distancia de separación de la estación base. Con todas las mediciones recopiladas, construya una gráfica similar a la mostrada en la figura 24. Esta gráfica corresponde a los valores de Capacidad neta para un canal de 3.5 MHz y un prefijo cíclico de 1/32.

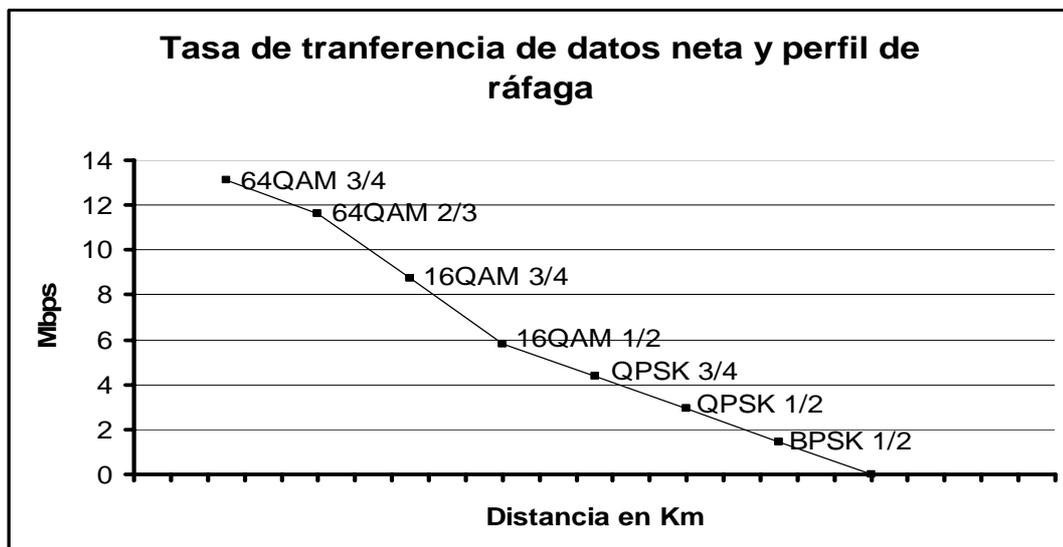


Figura 24. Tasa de transmisión de datos neta y perfiles de ráfaga para canales de 3.5 MHz con un prefijo cíclico de 1/32 (ver tabla 10).

Esta grafica servirá para visualizar el comportamiento de la capacidad de transmisión de datos en el sitio con respecto con la distancia y el perfil de ráfaga utilizado, de esta manera se podrá compará entre equipos de diferentes marcas cual mantiene el mejor perfil de ráfaga a mayor distancia además de servir para un estudio inicial de ingeniería de red.

Para comparar el comportamiento de las distintas soluciones implementadas, calcule el área bajo la curva utilizando la siguiente ecuación (5):

$$Mbps / Km = \frac{Dis\ tan\ cia_N - Dis\ tan\ cia_1}{N - 1} * \left[\frac{C_N + C_1}{2} + \sum_{i=2}^{N-1} C_i \right] \quad (5)$$

Donde N es el número de sitios donde se realizaron las pruebas y C es la tasa de transmisión de datos.

Los valores de CINR y RSSI los cuales nos darán una perspectiva de la calidad del canal, deberán estar comprendidos en los siguientes rangos [1]:

$$-123dBm < RSSI < -40\ dBm \quad (6)$$

$$-10\ dB < CINR < 53\ dB \quad (7)$$

El valor de CINR nos permitirá saber si el CPE esta cercano a cambiar el perfil de ráfaga o esta estable, Ejemplo si para una posición se tiene que el perfil de ráfaga es 16QAM 1/2 y el valor de CINR es de 0 dB es probable que estemos en los umbrales para cambiar a un perfil de ráfaga mas robusto en este caso QPSK 3/4.

8.7.5. Puntuación.

Promedie los Mbps/Km obtenidos para cada solución, después compare los valores obtenidos por cada solución con este promedio. La nota máxima de esta

prueba será de 100 puntos. Califique de la siguiente manera y coloque la nota final en la tabla 13:

- 100 muy por encima del promedio.
- 75 por encima del promedio.
- 50 Cercano al promedio
- 1 Por debajo del promedio

8.7.6. Prueba de verificación de parámetros de tráfico QoS.

8.7.6.1. Objetivo de la prueba.

El fin de esta prueba es verificar si la Estación Base y el software de gestión mantienen parámetros de calidad de servicio como: máxima capacidad sostenida (MIR), mínima capacidad reservada (CIR), y retardo extremo-extremo o latencia cuando operan uno o más CPE simultáneamente.

8.7.6.2. Requerimientos.

Los requerimientos para esta prueba serán los mismos de la prueba anterior salvo por los siguientes aspectos:

- Esta prueba se realizará con 4 unidades CPE in-door.
- Esta prueba será sin línea de vista.
- Se fijará con el software de gestión, un MIR=CIR=1024 Kbps en el Downlink y el Uplink para cada conexión.
- El tamaño de los archivos será 8000, 12000, 16000 Kbytes.
- El esquema de general de las pruebas aplica a esta prueba (ver figura 21).

8.7.6.3. Procedimiento.

- Primero envíe cada uno de los tres archivos alojados en el servidor ubicado en la estación base al equipo terminal (uno a la vez) y anote los tiempos indicados por el software de transferencia para cada uno de los archivos. Estos tiempos serán los del Downlink. Calcule la tasa de transmisión de datos para cada uno de los archivos enviados por la BS a cada CPE. Plasme los datos en la tabla A3.3 identificada con dirección de transferencia Downlink.
- Después envíe de la PC destino los tres archivos al servidor FTP identificados con el código MAC del CPE siguiendo el mismo procedimiento indicado en el punto anterior. Esto se hace para saber de donde provienen los archivos. Estos tiempos serán los del Uplink. Calcule la tasa de transmisión de datos para cada uno de los archivos enviados por los CPE a la BS. Plasme los datos en la tabla A3.3 identificada con dirección de transferencia Uplink.
- Utilizando el comando ping en la ventana de símbolo del sistema operativo mida el retardo extremo-extremo. Para esto escriba el siguiente comando: "Ping -n 50 -v 0 [ip destino]", este comando calculará una media del tiempo que tardarán todos los paquetes en ir y venir, para tener una buena estimación se enviarán 50 paquetes. Anote los datos en la tabla A3.4.
- Realice los tres procedimientos anteriores con 1, 2, 3 y 4 CPE enviando o recibiendo simultáneamente.

8.7.6.4. Puntuación.

Tome de la tabla A.3.3 cada tasa de transmisión de datos obtenida y compárela con el valor de CIR=MIR=1024 Kbps y califique cada caso de la siguiente manera:

- 25 muy cercano al valor.
- 15 cercano

- 0 alejado del valor

Para los casos de más de un CPE promedie la calificación de cada CPE utilizado. Haga esto para el Downlink y el Uplink por separado, Finalmente calcule la nota de esta prueba con la siguientes ecuaciones (8):

$$\begin{aligned} \text{nota} &= 0.1 * CPE_1 + 0.2 * CPE_{1,2} + 0.3 * CPE_{1,2,3} + 0.4 * CPE_{1,2,3,4} \\ \text{nota total} &= \text{nota}_{DL} + \text{nota}_{UL} \end{aligned} \quad (8)$$

Para la prueba de retardo extremo a extremo, promedie los retardos obtenidos para cada solución (tabla A3.4) y después compárelos con este promedio y califique de la siguiente manera:

- 50 muy por encima del promedio.
- 30 por encima del promedio.
- 20 Cercano al promedio
- 1 Por debajo del promedio

Finalmente la puntuación para la prueba de verificación de parametros de tráfico será la suma de la calificación para la prueba de CIR/MIR tanto para el Downlink como para el Uplink y la prueba de retardo extremo a extremo. La nota total máxima de esta prueba será de 100 puntos. Anote la nota final en la tabla 13.

8.7.7. Prueba de sistemas de gestión.

8.7.7.1. Objetivo de la prueba.

Se verificarán las capacidades, interfaces, configuración, manejo de fallas y gestión de seguridad de los sistemas de gestión ofrecidos por las soluciones WiMAX. Esta prueba será concluyente del desarrollo de las pruebas anteriores.

8.7.7.2. Procedimiento.

Para evaluar los sistemas de gestión se llenara la tabla A3.5. En ella se indicara si el sistema cuenta con las características, que se considera, el sistema de gestión debe tener.

8.7.8. Puntuación.

Evalúe cada aspecto del cuestionario de la tabla A3.5 con un punto si existe cumplimiento. Obtenga la puntuación total y calcule su equivalente en 100 puntos utilizando la siguiente ecuación (9):

$$nota = \frac{puntuacion * 100}{30} \quad (9)$$

La nota total máxima de esta prueba será de 100 puntos. Plasme la nota final en la tabla 13.

8.8. Pruebas Operacionales.

Estas pruebas son realizadas para hacer una apreciación de la operación de la red WiMAX conjuntamente con el Core IP de Movistar. Estas incluyen una evaluación de la facilidad de instalación de los equipos terminales indoor, el comportamiento de aplicaciones de Internet.

8.8.1. Pruebas de instalación y configuración de equipos terminales.

8.8.1.1. Objetivo de la prueba.

Evaluar la capacidad de Auto-Instalación a nivel de hardware por parte del usuario y su configuración para la puesta en funcionamiento del equipo terminal.

8.8.1.2. Requerimientos.

- La prueba será in-door y sin línea de vista.
- Esta prueba deberá realizarse a menos de 2 Km de la estación base
- Será realizada preferiblemente por usuarios con un conocimiento medio en instalación de equipos de computación.
- Se entregará a un usuario, previamente seleccionado por los evaluadores de la solución, un equipo terminal in-door que deberá incluir todos los implementos necesarios para realizar la instalación física del equipos, software de instalación y manuales.
- Se llenará totalmente el cuestionario mostrado en la tabla A3.6.

8.8.1.3. Procedimiento de la prueba.

- Con el equipo GPS anote la posición donde esta ubicado el usuario.
- Tome el tiempo al inicio
- Inicie abriendo la caja del equipo y extraiga todos los elementos.
- Lea por favor las instrucciones de instalación.
- Coloque el CPE lo más cerca posible de su PC.
- Conecte el equipo a la toma de corriente.
- Verifique que nivel de señal mostrado por el indicador del equipo.
- Conecte el equipo al puerto de red (RJ-45).
- Encienda su PC.
- Proceda con la configuración de la conexión según indican las instrucciones.
- Una vez termine de configurar el equipo, vaya al panel de control, conexiones de red y con el botón derecho sobre el icono de conexión de área local, selecciones la opción de Estado y verifique si el equipo esta conectado.
- Tome nota del tiempo una vez haya terminado de instalar el equipo.
- Durante 10 minutos navegue por Internet.

8.8.1.4. Puntuación.

Se puntuaran las respuestas de la tabla A3.6 de la siguiente forma:

- Si/Bueno, 3 puntos.
- Medio, 2 puntos.
- No/Bajo, 1 punto.

Se sumarán los puntos obtenidos en cada aspecto de los cuestionarios y se calcularán su equivalente en 100 puntos con la siguiente ecuación (4):

$$nota = \frac{puntuación\ total * 100}{33} \quad (4)$$

Para obtener la nota final de las prueba de instalación y configuración de equipos terminales utilizados en la solución que se esta evaluando se promediara las todas las notas de todas las pruebas realizadas. La nota total máxima de esta prueba será de 100 puntos. Coloque la nota final en la tabla 13.

8.8.2. Pruebas de Aplicaciones de Internet

8.8.2.1. Objetivo de la prueba.

Para evaluar la calidad y la velocidad de los servicios de aplicación sobre Internet de la red WiMAX operando conjuntamente con el Core IP de Movistar. Se apreciará el comportamiento probando diferentes servicios. Esta prueba se realizará conjuntamente con la prueba de instalación y configuración para CPE que hayan establecido completamente su conexión.

8.8.2.2. Requerimientos.

- Tres CPE indoor
- El equipo terminal deberá estar debidamente instalado y configurado.
- Esta prueba será NLOS.
- Se deberá fijar un CIR de 64 kbps y un MIR 1024 kbps para las conexiones a ser probadas.
- Un PC que cuente con las siguientes aplicaciones:
 - Navegador Web.
 - Cliente FTP.
 - Reproductor video stream.
- El PC deberá tener el mínimo de aplicaciones funcionando, ya que esto puede afectar las pruebas.

8.8.2.3. Procedimiento.

- Usando el Navegador Web acceda a la pagina:
 - <http://www.numion.com/YourSpeed/index.html>

Este es un software de prueba de navegación Web, el cual probará el rendimiento de la conexión en paginas Web. Fije los campos en 41 tramas y una duración de 5 minutos y presione “start” espere. Tome nota del Throughput en kbps.

- Para la prueba de transferencia FTP acceda a la pagina:
 - <http://www.numion.com/MaxSpeed/index.html>

Este es un software de prueba de envío y descarga d archivos FTP de tamaños distintos vía Internet. Presiones “start the measurement”, espere que finalice la prueba y tome nota del throughput tanto para el Downlink como para el Uplink en Kbps.

- Acceda a la siguiente página Web:
 - <http://www.cnn.com/video/player/player.html?>

Esta página ofrece servicio de video stream sobre Windows Media Player. escoja uno de los videos allí presentados y aprecie aspectos como la velocidad del video, distorsión en la imagen, sincronización del audio con las secuencias de imágenes, etc. Califique cada experiencia con los siguientes términos:

- 20 Excelente.
 - 15 Buena.
 - 10 Regular
 - 5 Deficiente.
 - 1 Muy deficiente.
- Realice esta prueba tres veces en tres conexiones. Estos datos deben ser plasmados en la tabla A3.7.

8.8.2.4. Puntuación.

Para las tasas de transmisión medidas, promedie los valores obtenidos por cada solución, después compárelos con el promedio. Para la aplicación Web califique de la siguiente manera:

- 30 muy por encima del promedio.
- 20 por encima del promedio.
- 15 Cercano al promedio
- 1 Por debajo del promedio

Para la prueba de transferencia FTP en el Uplink y en el Downlink, califique de la siguiente manera:

- 20 muy por encima del promedio.
- 15 por encima del promedio.
- 10 Cercano al promedio
- 1 Por debajo del promedio

Para obtener la nota final de la prueba de aplicaciones de Internet sume las calificaciones obtenidas por cada prueba. La nota total máxima de esta prueba será de 100 puntos. Anote la nota final en la tabla 13.

8.9. Pruebas adicionales.

Esta prueba será realizada si se incluye en las soluciones servicios de telefonía.

8.9.1. Pruebas de telefonía IP/WiMAX.

8.9.1.1. Objetivo de la prueba.

Se evaluará la calidad de voz percibida en llamadas establecidas desde y a equipos terminales WiMAX que cuenten con capacidades de gestión de llamadas basadas en el protocolo de inicio de sesión SIP. Estas llamadas deberán ser realizadas a redes de telefonía como redes celulares (CDMA, GSM), redes de telefonía pública fijas o inalámbrica y redes IP con servicios de telefonía basadas SIP.

En estas pruebas se deberán evaluar diferentes casos de establecimiento de llamadas tomando en cuenta los siguientes aspectos:

- Codec utilizados para la digitalización y la compresión de la voz con los que cuentan las soluciones WiMAX (ejemplo, G.711A/U, G.723, G.729, etc).

- Efectos de retardo extremo a extremo según el número de tramas por paquete de voz.
- Verificación de la calidad de la voz con o sin algoritmos supresores de eco.
- Verificación de la calidad de la llamada utilizando algoritmos de detección de voz activa (VAD) o supresores de silencio.

8.9.1.2. Requerimientos.

- Se debe contar en el Core IP con entidades de red para el manejo de tráfico SIP: Servidores de gestión, SIP Proxy, Softswitch y Gateway.
- Sistema de red para generar tráfico de datos.
- Se debe aprovisionar troncales con centrales de conmutación de otras redes telefónicas (propias y externas).

8.9.1.3. Evaluación.

Se deberá apreciar la calidad de la voz para cada uno de los casos a ser probados tomando en cuenta efectos como: voz recortada, voz robotizada, nivel de audio, etc. Estas pruebas serán evaluadas en función a la mayor calidad de voz utilizando el menor ancho de banda posible y se calificara de la siguiente manera, plasme los datos en la tabla A3.8:

- 100 Excelente.
- 75 Buena.
- 50 Regular
- 25 Deficiente.
- 1 Muy deficiente.

8.10. Matriz de evaluación/puntuación

El protocolo de pruebas debe arrojar una calificación total que aprecie globalmente a las soluciones participantes en el concurso para la selección del fabricante(s) que proveerá los equipos para el despliegue de la red WiMAX por parte de Movistar Venezuela. Cada una de las pruebas tendrá una ponderación distinta que vendrá dada de la siguiente manera:

Tabla 12. Ponderación de las Pruebas.

Prueba	Ponderación
Cobertura, tasa de transmisión de datos y mediciones de canal	40 %
Verificación de parámetros de tráfico QoS	25 %
Sistemas de gestión	15 %
Instalación y configuración de equipos terminales	15 %
Aplicaciones de Internet	5 %

Como se puede ver en la tabla 12, la prueba de cobertura, capacidad efectiva y mediciones del canal es la más importante ya que ella nos da un indicativo de cual solución ofrece las mejores tasas de transmisión a mayor distancia en condiciones de propagación sin línea de vista. De esta manera se logrará diseñar una red con una menor cantidad de estaciones base por km² y con la posibilidad de tener más usuarios que usen equipos CPE indoor con capacidad de auto-instalación. La segunda prueba en importancia es la de verificación de parámetros de tráfico QoS, ya que esta permite constatar que estos parámetros son sostenidos por la red. Esto es importante ya que existe un contrato de servicio con el usuario y existen limitaciones con el ancho de banda provisionado por la red de transporte. Las pruebas técnicas tienen una gran importancia ya que estas verificarán la capacidad del sistema en las condiciones de

propagación y situación geográfica donde se desplegará esta red. Es por esto que conformarán el 80% de la calificación final.

Las pruebas operacionales son pruebas apreciativas realizadas desde el punto de vista del usuario, en donde se verificarán las capacidades de auto-instalación de los equipos terminales indoor y también se verificarán el funcionamiento de las aplicaciones de Internet. En vista que las pruebas operacionales son apreciativas y no evalúan objetivamente a las soluciones, estas conformarán el 20% de la calificación final, en donde la mayor ponderación corresponde a la prueba de instalación y configuración de equipos terminales, debido a que esta capacidad ayudará al rápido crecimiento de la red y ahorrará gastos de planta externa.

En la tabla 13 se recopilará las calificaciones más importantes de las pruebas antes mencionadas y se plasmará en ella la calificación final de la solución, la cual será el promedio ponderado de las notas finales de cada prueba. Es importante tener en cuenta que esta calificación se obtendrá una vez hayan culminado las pruebas para todas las soluciones participantes.

Tabla 13. Matriz de evaluación/puntuación del protocolo de pruebas.

Prueba	Sub-pruebas	Nota de sub-pruebas	Nota de Pruebas
Cobertura, capacidad efectiva y mediciones de canal			/100
Verificación de parámetros de tráfico QoS	CIR/MIR (Downlink)	/25	/100
	CIR/MIR (Uplink)	/25	
	Retardo Extremo a Extremo	/50	
Sistemas de gestión			/100
Instalación y configuración de equipos terminales			/100
Aplicaciones de Internet	Web	/30	/100
	FTP Downlink	/20	
	FTP Uplink	/20	
	Video Stream	/30	
Nota final obtenida por la solución probada			/100

CONCLUSIONES

WiMAX ha resultado ser la solución de los operadores que no cuentan con infraestructura de cable en la última milla como es el caso de Movistar Venezuela. Capacidades como permitir diferentes métodos de duplexing, modulación adaptativa, diferentes tasas de codificación, control automático de potencia, diversidad espacio-tiempo y antenas adaptativas hacen de WiMAX una tecnología muy flexible que es capaz de lograr transmitir grandes anchos de banda a largas distancias con el aditamento de establecer conexiones sin línea de vista. La principal virtud de WiMAX es ser una tecnología fundamentada en estándares e ínter operable. La habilidad de proveer conexiones de banda ancha inalámbrica, permiten la masificación e interoperabilidad, logrando una economía de escala que bajará los costos por proveer servicios de banda ancha. WiMAX puede ser una alternativa asequible para muchos casos donde el costo de emplazamiento y actualización de redes de banda ancha por cableado terrestres, suele ser muy costosa.

Basado en estas ventajas y virtudes se deduce que los aspectos más importantes a ser probados por el protocolo de pruebas son las capacidades de transmisión, instalación, aplicación y operación de las soluciones WiMAX. De todos estos el que se considera mas importante es el de las capacidades, mas concretamente en la cobertura de las estación base para dar servicio a usuarios con equipos in-door con capacidades de auto-instalación pudiendo dimensionar una red WiMAX de rápida y fácil implementación y con un costo inicial relativamente económico. Aunque es probable que los primeros despliegues de estas redes sean con equipos out-door ya que el crecimiento de instalaciones de estaciones base será gradual, caso que es perjudicial para tener una red totalmente in-door ya que las áreas de cobertura de las unidades in-door se estiman inferiores a 2 Km.

RECOMENDACIONES

Basado en la investigación realizada para este trabajo, se consideran importantes tomar estas recomendaciones para la futura implantación de la red WiMAX, además de tomar en consideración aspectos importantes que enriquecerán el alcance de este protocolo de pruebas en las futuras actualizaciones para aplicaciones de movilidad con WiMAX.

- Se debe disponer de un aprovisionamiento de red de transporte para la interconexión de las estaciones base, que permita el crecimiento de la red en función del ancho de banda por kilómetro cuadrado necesario para poder dar servicios de telefonía e Internet a una cantidad de usuarios que crecerá según las expectativas de penetración fijadas por el Movistar Venezuela.
- Se considera más eficiente para el diseño de la canalización y el plan de frecuencias de las sub-bandas asignadas en 3.5 GHz, el uso del método de duplexing por división de tiempo TDD. Esto permite el uso de la ventaja de WiMAX de flexibilizar el tamaño del Downlink y del Uplink por conexión establecida. Esto evita la pérdida de espectro al ofrecer servicios asimétricos con el método de duplexing por frecuencia FDD. Adicional a esto, las especificaciones futuras para la movilidad en WiMAX se enfocan en mayor medida en aplicaciones eficientes que trabajan con el método TDD.
- La planeación de la red debe ser pensada en la actualización de futuras aplicaciones de portabilidad y movilidad. Con esto se quiere que las soluciones seleccionadas debe contar ya con capacidades a nivel de capa física como la modulación OFDM configurable de 256 a 2048 sub-portadoras, diversidad de múltiples antenas transmisoras y receptoras (MIMO) y sistemas de antenas adaptativas.
- El Protocolo de pruebas presentado en este trabajo el cual esta enfocado en aplicaciones fijas, debe ser actualizado y enriquecido con pruebas que

verifiquen las especificaciones de la futura enmienda IEEE 802.16e, enfocándose en las capacidades, operación y manejo de handoff.

- Se debe tener en cuenta en la planeación de la red, dar servicio a las zonas que bordean a las grandes ciudades de Venezuela (sectores de clase D y E), ya que en esas zonas existe potenciales usuarios que tienen la intención de contratar servicios de telefonía e Internet sobre banda ancha, pero se les es imposible debido a que no cuentan con instalaciones de comunicación idóneas para dar servicios de banda ancha, facilitando el camino a tecnologías inalámbricas como WiMAX.
- Se plantea para el estudio posterior a este trabajo, investigar sobre el análisis de tráfico de telefonía IP sobre WiMAX basado en el protocolo de sesión SIP.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] IEEE. Part 16: Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access System.--EN: The IEEE 802.16 Working Group on Broadband Wireless Access Standards, (Estándar en línea). Disponible: <<http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.16-2004.pdf>>. --New York, 2004. p 486- 488 y 759-761.
- [2] *Regulatory Position and Goals of the WIMAX Forum*.--EN: WiMAX Forum, (Documento en línea). Disponible: <http://www.wimaxforum.org/news/downloads/WiMAX_Forum_Regulatory_Whitepaper_v08092004.pdf>, 2004. p1.
- [3] Sierra M., Rafael X., Martí P. y Carabina J. Prototipo Demostrador de OFDM:Transmisor. Dep. d'Electrònica i Telecomunicacions, Universitat de Vic, (documento en línea). Disponible: <http://www.uvic.es/eps/recerca/codisseny/docs/publicacions/prototipo_demostrador_de_ofdm.pdf> p 1.
- [4] Agais E., Mitchel H., Ovadia S., y otros. Intel Technology Journal, Volumen 8, Issue 3. *Global, Interoperable Broadband wireless Networks: Extending wimax Technology to Mobility*.--EN: Intel Corporation, (Documento en Línea). Disponible: <http://www.intel.com/technology/itj/2004/volume08issue03/art01_globalwirelessnet/vol8_art01.pdf>, 2004. p 181.
- [5] UIT-R F.1488. Disposiciones de bloques de frecuencia para sistemas de acceso Inalámbrico fijo en la gama 3400-3800 MHz. Unión internacional de Telecomunicaciones, 2000. Anexo 1.
- [6] IEEE. Channel Models For Fixed Wireless Application. --EN: The IEEE 802.16 Working Group on Broadband Wireless Access Standards, (Documento en línea). Disponible: <http://grouper.ieee.org/groups/802/16/tg3/contrib/802163c-01_29r4.pdf>, 2001. p 3 y 13.
- [7] *Business Case Models for Fixed Broadband Wireless Access based on WiMAX Technology and the 802.16 Standard*.--EN: WiMAX Forum, (Documento en línea). Disponible: <http://www.wimaxforum.org/news/downloads/WiMAX-The_Business_Case-Rev3.pdf>, 2004. p 5 y 6.
- [8] Cuadro Nacional de Atribución de Bandas de Frecuencias.-- Caracas. Comisión Nacional de Telecomunicaciones. Ministerio de Infraestructura, (Norma en línea). Disponible: <http://www.conatel.gov.ve/downloads/marco_legal/CUNABAF%20Extraordinaria.zip>, 2002. p 60, 61

[9] *WiMAX Deployment Considerations for Fixed Wireless Access in the 2.5 GHz and 3.5 GHz Licensed Bands*--**EN:** WiMAX Forum, (Documento en línea). Disponible: <[Http://www.wimaxforum.org/news/downloads/DeploymentConsiderations_White_PaperRev_1_4.pdf](http://www.wimaxforum.org/news/downloads/DeploymentConsiderations_White_PaperRev_1_4.pdf)>, 2005. p 9 y 15.

[10] *WiMAX in India: Opening New Frontiers Through Broadband Connectivity*. --**EN:** Technology@Intel Magazine. (Revista en línea). Disponible: <<http://www.intel.com/technology/magazine/communications/wi11041.pdf>>, 2004. p 4.

[11] Skold, Lundevall, Parkwall y Sundeliy. *Broadband data performance of third generation mobil systems*.--**EN:** Ericsson Review,-- Vol 82, 2005. p 14-23.

BIBLIOGRAFÍAS

- Alvarion [en línea], <www.alvarion.com> [Consulta : 2005]
- Aperto Network [en línea], <www.apertonet.com> [Consulta : 2005]
- Agilent Technologies [en línea], <<http://www.home.agilent.com>> [Consulta : 2005]
- Airspan [en línea], <www.airspan.com> [Consulta: 2005]
- Comisión Nacional de Telecomunicaciones [en línea], <www.conatel.gov.ve> [Consulta : 2005]
- Fujitsu [en línea], <www.fujitsu.com> [Consulta : 2005]
- Intel Corporation [en línea], <www.intel.com> [Consulta : 2005]
- Red Line Communications [en línea], <www.redlinecommunications.com> [Consulta : 2005]
- SR Telecom [en línea], <www.srtelecom.com> [Consulta : 2005]
- The IEEE 802.16 Working Group on Broadband Wireless Access Standards [en línea], <<http://www.ieee802.org/16/>> [Consulta : 2005]
- Unión Internacional de Telecomunicaciones [en línea], <<http://www.itu.int>> [Consulta : 2005]
- Wavesat [en línea], <www.wavesat.com> [Consulta : 2005]
- Wimax Forum [en línea], <www.wimaxforum.org> [Consulta : 2005]

[ANEXO N° 1]

[Características de equipos WiMAX]

En la siguiente tabla se muestra las características relevantes de los equipos que conforman una solución WiMAX, las cuales han sido extraídas del estudio del estándar IEEE 802.16-2004 y la investigación de especificaciones y presentaciones ofrecidas por algunos fabricantes de soluciones PRE-WiMAX. Estas características se consideran importantes para conocer las capacidades, rendimiento, y ventajas de las soluciones WiMAX. También serán tomadas para hacer una solicitud de información a los proveedores en la forma de cuestionario, la cual servirá para conocer y evaluar las soluciones y permitir hacer un primer despeje en la selección de soluciones.

Tabla A1.1. Características técnicas de los elementos WiMAX.

Característica	Elemento	Descripción
Sistema		
Bandas de frecuencia	BS, SS-Indoor, SS-Outdoor, Transceiver, Antena.	Bandas de Frecuencia de donde operan los equipos.
Tamaño del canal	BS, SS-Indoor, SS-Outdoor.	Canalización soportada en la banda de operación.
Reuso de frecuencia	BS.	Factor de reuso de frecuencia que soporta la estación base en configuración de múltiples sectores.
Capacidad total del canal	BS, SS-Indoor, SS-Outdoor.	Capacidad del canal en Mbps, sobre el aire a la máxima longitud de enlace por perfil de ráfaga.
Capacidad efectiva (throughput)	BS, SS-Indoor, SS-Outdoor.	Capacidad total de la señal banda base transmitida (en el puerto del equipo), medida en la máxima longitud de enlace por perfil de ráfaga en Mbps.
Eficiencia espectral	BS, SS-Indoor, SS-Outdoor.	Relación de bit/seg transmitidos por Hertz de ancho de banda del canal.
MTBF	BS, SS-Indoor, SS-Outdoor, Transceiver, Antena.	Tiempo medio entre fallas (<i>Mean Time Between Failures</i>).

(Continuación) Tabla A1.1. Características técnicas de los elementos WiMAX		
MTBR	BS, SS-Indoor, SS-Outdoor, Transceiver, Antena.	Tiempo medio entre reparaciones (<i>Mean Time Between Repairs</i>)
Capa PHY		
Interfaz de aire	BS, SS-Indoor, SS-Outdoor	Interfaz de aire utilizada. Tales como WirelessMAN-OFDM, WirelessMAN-OFDMA.
Numero de sub-portadoras OFDM	BS, SS-Indoor, SS-Outdoor	Numero de sub-portadoras que el modulador es capaz de soportar. 256 para OFDM y mayor a 256 para OFDMA.
Modulación	BS, SS-Indoor, SS-Outdoor.	El rango de modulaciones estipuladas por el Std. 802.16-2004 que son soportadas por el mecanismo de modulación adaptativa, las cuales son BPSK, QPSK, 16QAM, 64QAM.
Codificación del Canal	BS, SS-Indoor, SS-Outdoor	Tasa total de codificación (RS x CC) soportadas. Las cuales son 1/2, 2/3, 3/4.
Métodos de Duplexing	BS, SS-Indoor, SS-Outdoor.	TDD, FDD, H-FDD, F-FDD.
Tamaño de preámbulos	BS, SS-Indoor, SS-Outdoor.	Tamaño en (μ s) del prefijo cíclico, en partes de carga útil: 1/4, 1/8, 1/16, 1/32.
Potencia de salida Tx.	BS, SS-Indoor, SS-Outdoor, Transceiver, Antena.	Potencia de salida medida del conector de la antena, en (dBm).
Control automático de potencia (ATPC)	SS-Indoor, SS-Outdoor.	Capacidad de los SS de controlar su potencia de transmisión para mejorar la capacidad del enlace.
Sensibilidad del Rx	BS, SS-Indoor, SS-Outdoor, Transceiver, Antena.	Nivel de sensibilidad en el receptor en (dBm), para mantener un BER de 10^{-6} en cada perfil de ráfaga,
Rango dinámico de control automático de potencia RF.	BS, Transceiver, Antena.	Rango de operación del Mecanismo de control de potencia Tx para mantener la eficiencia del enlace, en (dB)
Relación portadora, interferencia (C/I) canal adyacente	BS, SS-Indoor, SS-Outdoor, Transceiver, Antena.	Interferencias producidas en sistemas radiantes iguales y diferentes por el primer y segundo canal adyacente, sobre la portadora, en (dB).
Relación portadora, interferencia (C/I) co-canal	BS, SS-Indoor, SS-Outdoor, Transceiver, Antena.	Interferencia co-canal producidas en sistemas radiantes iguales y diferentes, sobre la portadora, en (dB).
Ganancia	Antena	Ganancia de la antena en (dBi)
Ancho de patrón horizontal a 3dB	Antena	Rango de radiación en el plano horizontal de la antena.

(Continuación) Tabla A1.1. Características técnicas de los elementos WiMAX		
Ancho de patrón vertical a 3dB	Antena	Rango de radiación en el plano vertical de la antena
Relación front to back	Antena	Atenuación entre la parte frontal de la antena y la parte posterior (dB)
Inclinación Eléctrica	Antena	Capacidad de inclinar eléctricamente el lóbulo vertical por medio de defasaje de los dipolos de la antena, en grados.
Diversidad Espacio-Tiempo	BS, SS-Indoor, SS-Outdoor	Capacidad del sistema de configurarse para transmisiones con diversidad en espacio y tiempo, Las configuraciones posibles son múltiple salida-entrada simple (SIMO) y múltiple salida-múltiple entrada (MIMO).
Resistencia Mecánica y Ambiental	Antena	Estándares y normas para los cuáles se cumplen requerimientos de vibración, shock, carga de viento, velocidad del viento, humedad, radiación solar, vida de servicio, etc.
Integración de antena y Transceptor	Transceiver, Antena.	Se indica si el transceiver esta integrado o separado de la antena.
Compatibilidad con antenas de otros fabricantes	BS, SS-Outdoor	Se indica si la antena de otro fabricante puede funcionar con la BS.
Latencia	BS, SS-Indoor, SS-Outdoor.	Tiempo que tarda un paquete en ir de la BS a la SS, en (ms).
Retardo total Extremo a Extremo (round-trip delay)	BS, SS-Indoor, SS-Outdoor.	Tiempo que tarda un paquete de ir de la BS a la SS y de regreso, en (ms).
Redundancia de operación	BS	Capacidad redundante de las BS en caso de falla de uno de los radios, Esta puede ser 1+1 o N:1.
Alimentación	BS, SS-Indoor, SS-Outdoor, Transceiver, Antena.	Soportes de alimentación DC y AC y sus características eléctricas.
Redundancia de alimentación.	BS, SS-Indoor, SS-Outdoor.	Soporte 1+1 de alimentación.
Consumo de potencia	BS, SS-Indoor, SS-Outdoor, Transceiver.	Consumo de potencia máximo y típico en (W) por sector en el caso de la BS.
Control de consumo	BS, SS-Indoor, SS-Outdoor, Transceiver.	Control de consumo por niveles de operación como: espera, sin transmitir, en operación.
Interruptor ON/OFF	BS, SS-Indoor, SS-Outdoor, Transceiver.	Se indica si el hardware tiene capacidad de ser apagado por un interruptor local.
Indicador de Señal	SS-Indoor, SS-Outdoor.	Capacidad de los CPE de indicar, por medio de un indicador, el nivel de señal recibido.

(Continuación) Tabla A1.1. Características técnicas de los elementos WiMAX		
Temperatura de operación	BS, SS-Indoor, SS-Outdoor, Transceiver, Antena.	Rango de temperaturas a la que opera el equipo.
Porcentaje Humedad	BS, SS-Indoor, SS-Outdoor, Transceiver, Antena.	Rango de humedad a la que opera el equipo.
Características mecánicas	BS, SS-Indoor, SS-Outdoor, Transceiver, Antena.	Medidas de alto, ancho, profundidad, y peso.
Capa MAC		
ARQ	BS, SS-Indoor, SS-Outdoor.	Soporte opcional de reenvío de paquetes.
Numero de flujo de servicio soportados en el Uplink	BS, SS-Indoor, SS-Outdoor.	Numero de flujo de servicio (SFID) que la BS es capaz de admitir.
Numero de suscriptores	BS	Numero de suscriptores que puede manejar la BS simultáneamente.
Servicios de planificación	BS, SS-Indoor, SS-Outdoor.	Niveles de servicios fijados o no por un nombre de clase de servicio en un flujo de servicio. Estos son UGS, rtPS, nrtPS, BE.
Métodos de encriptación sobre aire	BS, SS-Indoor, SS-Outdoor.	Se utilizan métodos de encriptación de datos (DES, AES) y de encriptación de llaves privadas y publicas (3-DES, RSA, AES) utilizados en el protocolo de gestión de llaves (PKM)
Compatibilidad con tarjetas SIM	SS-Indoor, SS-Outdoor.	Capacidad de poder autenticar y autorizar un SS con la información del suscriptor en un SIM card en cualquier equipo WiMAX.
Sistemas de Antenas Adaptativas. (AAS)	BS	Control de ases dirigidos, para mejorar la capacidad del sistema.
Interfaces disponibles	BS, SS-Indoor, SS-Outdoor.	Interfaces disponibles para conectar el equipo a la red, por ejemplo: ATM, Ethernet, TDM E1/T1, Wi-Fi, etc.
Conexión con la unidad externa	BS	Se especifica el tipo de interfaz/conector, tipo de cable y distancia máxima para conectar la BS al transceiver y este a la antena.
Protocolos de Gestión	BS, SS-Indoor, SS-Outdoor.	Los diferentes protocolos utilizados para gestión SNMP, Telnet, FTP, y TFTP para configuración remota o local.
Interfaces gestión y configuración local.	BS, SS-Indoor, SS-Outdoor.	Las diferentes interfaces que se utilizan para hacer configuración y gestión, ejemplo: RS-232, Ethernet, etc.

(Continuación) Tabla A1.1. Características técnicas de los elementos WiMAX		
Atributos de Red		
Versión IP	BS, SS-Indoor, SS-Outdoor.	Versión IP utilizada en el equipo.
Capacidades de Bridging	BS, SS-Indoor, SS-Outdoor.	Capacidad de bridging transparentes a la red entre redes LAN.
VPN (Virtual Private Network)	BS, SS-Indoor, SS-Outdoor.	Protocolos para creación de VPN: Encriptación de paquetes con IPsec, PPPoE, PPTP, L2TP pass-through.
Capacidad de traslación de direcciones IP	BS, SS-Indoor, SS-Outdoor.	Capacidad de traslación de direcciones privadas a públicas mediante la substitución o alteración de las direcciones IP (NAT: <i>Network Address Translation</i>)
Capacidades de enrutamiento	BS, SS-Indoor, SS-Outdoor.	Capacidad de enrutamiento: estático y dinámico y capacidades QoS.
DHCP	BS, SS-Indoor, SS-Outdoor.	Configuración de direcciones IP dinámicas a nivel de cliente y a nivel de servidor.
VLAN	BS, SS-Indoor, SS-Outdoor.	Soporte de Protocolo IEEE 802.1Q, capacidad de segmentación de la red.
QoS	BS, SS-Indoor, SS-Outdoor.	Protocolos de diferenciación de servicios (Diffserv) y tipos de servicio (ToS)
Clasificación y niveles de prioridad de Paquetes	BS, SS-Indoor, SS-Outdoor.	Protocolo de niveles de prioridad de paquetes IEEE 802.1p a nivel de capa 2 y codificación por diferenciación de servicios DSCP a nivel de capa 3, Asignación de CIR/MIR para limitar el tráfico por usuario.
Soporte de voz sobre IP	BS, SS-Indoor, SS-Outdoor.	Protocolos de VoIP utilizados para la señalización de paquetes de voz. Los más utilizados son SIP, H.323. Y el protocolo de transmisión en tiempo real RTP.
Paquetización y compresión de voz	SS-Indoor, SS-Outdoor	Métodos de paquetización y compresión de la voz (Codec).
Normas y Estándares		
Normas Eléctricas	BS, SS-Indoor, SS-Outdoor, Transceiver, Antena.	Se especifican todas las normas que el equipo cumple en este ámbito.
Normas sobre emisiones electromagnéticas	BS, SS-Indoor, SS-Outdoor, Transceiver, Antena.	Se especifican todas las normas que el equipo cumple en este ámbito.
Normas Ambientales	BS, SS-Indoor, SS-Outdoor, Transceiver, Antena.	Se especifican todas las normas que el equipo cumple en este ámbito.
Normas de seguridad	BS, SS-Indoor, SS-Outdoor, Transceiver, Antena.	Se especifican todas las normas que el equipo cumple en este ámbito.

Tabla A1.2. Características del sistema de gestión.

Característica	Descripción
Acceso remoto a los equipos para su configuración.	Configuración de los equipos mediante el uso de los protocolos de gestión remota SNMP, Telnet o FTP.
Acceso remoto a los equipos para actualizaciones de software.	Capacidad de los equipos de ser actualizados a nivel de software, esta característica es importante para la actualización de las soluciones 802.16-2004 a 802.16e.
Capacidad de manejo de bases de datos	Capacidad del software de llevar un histórico de alarmas, configuraciones y otros.
Carga masiva de configuración y/o cambio de parámetros.	Capacidad del software de hacer configuración múltiples a diferentes equipos en la red
Resintonizaciones remotas.	Capacidad resincronización manual de los equipos en caso de caída del sistema.
Actualizaciones masivas de software en las BS y los SS	Capacidad del software de manejar múltiples actualizaciones a equipos.
Plantillas de configuración.	Interfaces que permitan la configuración de parámetros RF y de QoS.
Indicadores de rendimiento del sistema.	Variables que sirven de indicativo del rendimiento del sistema, que el software maneja. Ejemplo: RSSI, CINR, perfiles de ráfaga, etc
Alarmas BS y CPE:	Tipos de alarmas según el nivel de la falla, ejemplo: alarmas menores, alarmas medias en caso degradación del servicio y alarmas mayores para afectación total del servicio.
Capacidad del sistema de gestión	Cantidad de nodos, equipos, procesamiento de mensajes, análisis de parámetros que soporta el software.
Plataforma de hardware sobre el que opera el sistema de gestión.	Características recomendadas del hardware para el buen funcionamiento del software.
Interfaz grafica.	Tipo de visualización del software, se busca que sea fácil y rápida de entender y utilizar
Facilidad de instalación de software de CPE	Que tan amigable y fácil es instalar y configurar un CPE indoor por parte del suscriptor.
Sistema sobre el que opera el software	Windows NT/ 2000, MIBs para HP openview.

[ANEXO N° 2]

[Requerimientos para la transmisión y recepción IEEE 802.16-2004]

Tabla A2.1. Requerimientos básicos [1].

Capacidad	Requerimiento Mínimo
Rango dinámico de Tx <ul style="list-style-type: none"> • CPE • CPE (con sub-canalización) • BS 	≥ 30 dB ≥ 50 dB ≥ 10 dB
Pasos de ajuste mínimo de nivel de potencia Tx	≤ 1 dB
Pasos relativos mínimo de nivel de potencia Tx	$\leq \pm 50\%$ del tamaño del paso, pero no mas de 4 dB
Plano espectral de transmisión <ul style="list-style-type: none"> • Diferencia absoluta entre sub-portadoras adyacentes: • La desviación promedio de potencia en cada sub-portadora obtenida de las medidas de potencia promedio sobre cada una de las 200 portadoras activas: Sub-portadoras -50 a -1 y +1 a -50: Sub-portadoras -100 a -50 y +50 a +100:	≤ 0.1 dB $\leq \pm 2$ dB $\leq \pm 2/-4$ dB
Error de constelación relativa Tx: BPSK 1/2 QPSK 1/2 QPSK 3/4 16 QAM 1/2 16 QAM 3/4 64 QAM 2/3 64 QAM 3/4	≤ -13.0 dB ≤ -16.0 dB ≤ -18.5 dB ≤ -21.5 dB ≤ -25.0 dB ≤ -28.5 dB ≤ -31.0 dB
Nivel de entrada máximo que el Rx tolera para poder recibir la señal en un canal activo	≥ -30 dBm
Nivel de entrada máximo que el Rx tolera antes de dañarse en un canal activo	≥ 0 dBm
Rechazo de interferencia por 1 ^{er} canal adyacente para un BER de 10^{-6} con una degradación de C/I=3 dB 16 QAM 3/4 64 QAM 3/4	≥ 11 dB ≥ 4 dB
Rechazo de interferencia por 2 ^{do} canal adyacente para un BER de 10^{-6} con una degradación de C/I=3 dB 16 QAM 3/4 64 QAM 3/4	≥ 30 dB ≥ 23 dB
Separación entre TTG y RTG para TDD y H-FDD	100 μ s
Tolerancia de frecuencia de referencia en la BS	$\leq \pm 8 \cdot 10^{-6}$ hasta 10 años desde la fabricación del equipo
Rechazo de canal imagen	> 60 dB

Tabla A2.2. Requerimientos mínimos para la recepción [1].

Capacidades	Requerimientos Mínimos	
Ancho de Banda de Canal	1,75 MHz	3.5 MHz
Tiempo de carga útil del símbolo OFDM	=128 μ	=64 μ
Sensibilidad del receptor para un BER de 10^{-6} .		
BPSK 1/2	≤ -94 dBm	≤ -91 dBm
QPSK 1/2	≤ -91 dBm	≤ -88 dBm
QPSK 3/4	≤ -89 dBm	≤ -86 dBm
16 QAM 1/2	≤ -84 dBm	≤ -81 dBm
16 QAM 3/4	≤ -82 dBm	≤ -79 dBm
64 QAM 2/3	≤ -77 dBm	≤ -74 dBm
64 QAM 3/4	≤ -76 dBm	≤ -73 dBm
Si la canalización es usada el umbral cambia $10 \cdot \log(N_{\text{sub-canales}}/16)$		
Tolerancia de sincronización.	≤ 156.25 Hz	≤ 312.5 Hz
Cociente Señal a Ruido del Rx (SNR)		
BPSK 1/2		6.4 dB
QPSK 1/2		9.4 dB
QPSK 3/4		11.2 dB
16 QAM 1/2		16.4 dB
16 QAM 3/4		18.2 dB
64 QAM 2/3		22.7 dB
64 QAM $\frac{3}{4}$		24.4 dB

[ANEXO N° 3]

[Tablas de recopilación de datos del protocolo de pruebas]

Tabla A3.1. Tabla de recopilación de datos para la evaluación de capacidades del sistema por sitio.

Marca del CPE/Serial:				
Posición de la estación Base:				
Ancho de banda del canal:				
Método de duplexing (FDD, TDD):				
Error de constelación relativo (REC) (dB)	BER ($\leq 10^{-6}$)	Sensibilidad (dBm)	Perfil de ráfaga obtenido	
Posición del CPE (Latitud,longitud, altura)	Nivel indicado en el CPE (alto,medio,bajo)	RSSI (dBm)	CINR (dB)	Perfil de ráfaga de monitor de estatus
Se puede realizar la prueba (Si / No). Observaciones:				
Transferencia de datos en el Downlink (BS→SS)				
Ancho de banda canal Downlink:				
Tamaño de Archivo (Kbytes)	Tiempo promedio de Transferencia (segundos)		Tasa de transmisión (kbyte/segundos)	
10000				
30000				
50000				
Capacidad de transmisión en el sitio = $(C_{10}+C_{30}+C_{50})/3$				
Transferencia de datos en el Uplink (SS→BS)				
Ancho de banda del canal Uplink:				
Tamaño de Archivo (Kbytes)	Tiempo promedio de Transferencia (segundos)		Tasa de transmisión (kbyte/segundos)	
10000				
30000				
50000				
Capacidad de transmisión en el sitio = $(C_{10}+C_{30}+C_{50})/3$				

Tabla A3.2. Tabla de datos de las tasas de transmisión de datos del sistema según la distancia.

Marca del CPE/Serial:					
Posición de la estación Base:					
Ancho de banda del canal:					
Método de duplexing (FDD, TDD):					
Sitio	Distancia (Km)	RSSI (dBm)	CINR (dB)	Perfil de ráfaga	Tasa de transmisión (Mbps)
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
N					
Mbps/Km :					

**Tabla A3.3. Tabla de recopilación de datos para prueba de sostenimiento de CIR
y MIR**

Marca del CPE/Seriales:						
Dirección de transferencia (Uplink/Downlink)						
Numero de CPE conectados simultáneamente.	Tamaño del archivo (kbytes)	Tiempo de transferencia (segundos)	Tasa de transmisión (C₈+C₁₂+C₁₆)/3 (kbps)			
			CPE 1	CPE 2	CPE 3	CPE 4
1	8000	CPE 1:		N/A	N/A	N/A
	12000	CPE 1:				
	16000	CPE 1:				
2	8000	CPE 1:			N/A	N/A
		CPE 2:				
	12000	CPE 1:				
		CPE 2:				
	16000	CPE 1:				
		CPE 2:				
3	8000	CPE 1:				N/A
		CPE 2:				
		CPE 3:				
	12000	CPE 1:				
		CPE 2:				
		CPE 3:				
	16000	CPE 1:				
		CPE 2:				
		CPE 3:				
4	8000	CPE 1:				
		CPE 2:				
		CPE 3:				
		CPE 4:				
	12000	CPE 1:				
		CPE 2:				
		CPE 3:				
		CPE 4:				
	16000	CPE 1:				
		CPE 2:				
		CPE 3:				
		CPE 4:				

Tabla A3.4. Tabla de recopilación de datos para prueba de medición de retardo extremo-extremo.

Marca del CPE/Seriales:		
Numero de CPEs conectados simultáneamente.	Retardo medio (ms)	Retardo Extremo a Extremo por caso Promedio (T)
1	CPE 1:	
2	CPE 1:	
	CPE 2:	
3	CPE 1:	
	CPE 2:	
	CPE 3:	
4	CPE 1:	
	CPE 2:	
	CPE 3:	
	CPE 4:	
Retardo extremo a extremo de la solución (ms) (T ₁ +T ₂ +T ₃ +T ₄)/4		

Tabla A3.5. Evaluación de sistema de gestión.

Nombre del sistema de gestión:		
Fabricante:		
Sistema operativo utilizado:		
Gestión de monitoreo		
Funciones de gestión	Cumple (Si/No)	Observaciones
Mostrar disponibilidad de los Equipos terminales (CPE)		
Mostrar los niveles de controles por demanda (CIR / MIR) de cada CPE		
Mostrar los niveles de RSSI, CINR		
Mostrar el perfil de ráfaga utilizado por el CPE		
Mostrar situación de Congestión de las estaciones Base.		
Generar informe sobre los datos de la calidad de funcionamiento de cada elemento. Definir fecha de Inicio y Fin.		
Capacidad de inicializar contadores		
Capacidad de fijar los niveles o Umbrales		
Gestión de Fallas		
Funciones de gestión	Cumple (Si/No)	Observaciones
Mostrar un evento de alarma ocurrida en cualquier componente del sistema		
Capacidad para cambiar el nivel de prioridad de la alarma y/o cambiarla de estado		
Generar informe con historial de alarmas por elementos y/o sistemas		
Generar informe de alarmas vigentes		
Inhibición y autorización de indicadores de alarmas audibles y visuales		
Capacidad de filtrar fallas / para un evento determinado		
Capacidad de generar un archivo con data cruda		
Informar y mostrar el cambio de estado de una alarma / restablecimiento automático de servicio		
Informar y mostrar el cambio de estado de una alarma / restablecimiento automático de servicio		
Gestión de Configuración		
Funciones de gestión	Cumple (Si/No)	Observaciones
Control de la información de los eventos ocurridos		

(Continuación) Tabla A3.5. Evaluación de sistemas de gestión		
Personalización de los parámetros de Configuración		
Control de ficheros históricos de cambios ocurridos durante diversos procesos de configuración		
Generar reporte de configuración del cliente		
Informe de cambio de configuración de un cliente		
Configuración remota de los servicios al usuarios		
Inicialización remota de los dispositivos del cliente		
Carga remota de configuración predefinida		
Generación de pruebas remotas de diagnósticos de fallas		
Configuración remota de los niveles de potencia en la unidad del suscriptor		
Configuración remota de los niveles de potencia en la unidad central		
Gestión de Seguridad		
Funciones de gestión	Cumple (Si/No)	Observaciones
Generación de alarma y reportes por intento de violación de los parámetros de seguridad		
Creación de perfiles de usuarios: Solo Lectura, Solo Alarmas, sin restricciones		

Tabla A3.6. Cuestionario de pruebas de instalación y configuración de equipos terminales in-door.

Lugar de la prueba (Posición):				
Marca/Serial del equipo:				
Pregunta	Si/bueno	Medio	No/Malo	Observaciones
Las instrucciones para la instalación y de configuración son fáciles y claras de entender?				
Que nivel de señal indica el terminal una vez encendido?				
El indicador de señal es estable?				
Le resulto fácil configurar el equipo para la establecer la conexión?				
Logró conectarse exitosamente?		N/A		
Logro colocar el terminal en el lugar que usted escogió?				
Al navegar durante el tiempo de 10 minutos la conexión fue satisfactoria? Si lo hizo varias veces indique cuantas.		N/A		
El comportamiento del CPE fue estable? (sin reiniciarse, congelarse, dejar de responder)				
La conexión funciona de una manera estable y transparente?				
En conclusión le pareció fácil instalar y configurar el equipo?				
No cree necesaria la asistencia técnica para la instalación?				
Duración de la instalación	N/A	N/A	N/A	

Tabla A3.7. Tabla de evaluación de aplicaciones en Internet.

Marca del CPE/Seriales:				
Servicios	Apreciación de velocidad y calidad de servicio			Promedie los datos De los tres usuarios
	Usuario 1	Usuario 2	Usuario 3	
Paginas Web				
Envío y Descarga FTP	Downlink:	Downlink:	Downlink:	
	Uplink:	Uplink:	Uplink:	
Video Stream.				

Tabla A3.8. Tabla de recopilación de datos para pruebas de calidad de voz para el servicio de telefonía.

Prueba N°	Equipo origen	Equipo destino	Codec/(Kbps) Utilizado	Tramas por Paquetes	Supresor de eco	Supresor de Silencio (VAD)	Calidad de Voz 3 intentos
1					Si/No	Si/No	
2					Si/No	Si/No	
3					Si/No	Si/No	
4					Si/No	Si/No	
5					Si/No	Si/No	
6					Si/No	Si/No	
7					Si/No	Si/No	
8					Si/No	Si/No	
9					Si/No	Si/No	
10					Si/No	Si/No	
11					Si/No	Si/No	
12					Si/No	Si/No	
13					Si/No	Si/No	
N					Si/No	Si/No	

[ANEXO N° 4]

[Especificaciones adicionales de capa de convergencia MAC CS]

4.1. ATM CS.

La ATM CS es una interfaz lógica que asocia diferentes niveles de servicio ATM con los niveles de servicio de la sub-capa MAC CPS IEEE 802.16-2004. Está realiza la clasificación de las celdas provenientes de la capa ATM. El ATM CS esta diseñado para soportar la convergencia de los PDU originados por el protocolo de capa ATM, los clasifica por el tipo de conexión utilizada y asiste la señalización por canal común (CCS). Puesto que las celdas ATM fueron creadas con especificaciones propias del protocolo ATM, estas serán transparentes para la ATM CS. En la figura A4.1 se puede ver el formato de la ATM CS PDU, note que el tamaño en bytes de la carga útil de la PDU es el mismo tamaño de la carga útil de una celda ATM.



Figura A4.1. Trama ATM CS PDU

4.1.1. Clasificación.

En ATM, las conexiones son realizadas de dos modos diferentes: el modo de conmutación por camino virtual (VP), identificado por el (VPI) y el modo conmutación por canal virtual (VC), identificado por el (VCI) asociado a un VPI. En modo de VP-switched, todos los VCIs dentro de un VPI son automáticamente mapeados a un VPI saliente. En el modo VC-switched un valor de VPI/VCI es mapeado individualmente a un valor de VPI/VCI saliente. Para cada modo de conmutación, los identificadores son mapeados a una CID que llevará la carga útil de

las celdas por la red IEEE 802.16-2004. Una vez que es asignada esta conexión la ATM CS entregará las ATM CS PDU a la MAC SAPs apropiadas. El objetivo de la clasificación es diferenciar los dos modos de conmutación para aplicar criterios de supresión de cabecera apropiados a cada modo.

4.1.2. Señalización.

Las interfaces ATM soportan tres tipos de conexiones, circuito virtual conmutado (SVC), circuito virtual permanente (PVC) y soft PVC. Los SVC's son establecidos y terminados dinámicamente en demanda del ancho de banda. En los PVC's como en el soft PVC's, el circuito es establecido por el administrador de la red. En el PVC el circuito es establecido por un proceso de aprovisionamiento de parte del sistema de gestión de la red, y el soft PVC es establecido por la señalización. En las redes ATM se usa señalización por canal común (CCS), donde los mensajes de señalización son llevados sobre una conexión completamente independiente de las conexiones de los usuarios y donde se lleva los mensajes de señalización para muchas conexiones de transporte ATM.

Tanto en el Downlink como en el Uplink, la señalización en la redes ATM puede ser iniciada y terminada entre interfaces de red a red (NNI) o de red a usuario (UNI). En el caso de la BS la ATM CS establecerá una UNI o una NNI dependiendo de la dirección de la conexión, y en el caso de la SS establecerá una interfaz UNI.

La señalización será mapeada por la Función de Interworking (IWF), la cual es una interfaz de la red ATM para converger con otros protocolos. Durante el proceso de aprovisionamiento, La SS establecerá una conexión para la señalización CCS y conexiones de transporte para llevar las PDU, manteniendo la topología de señalización de las redes ATM. Cualquier CID proveído para la señalización no será cambiado ni terminado dinámicamente.

4.2. Supresión de cabeceras (PHS).

4.2.1. ATM PHS.

La supresión de cabeceras ATM es ejecutada según el modo de conmutación utilizado en la conexión. Esta se realiza para poder asignar varias PDUs ATM que son asignadas a la misma CID con el fin de ahorrar ancho de banda. Esta función es opcional ya que si se desea, la cabecera ATM no será suprimida y todos los campos de esta serán conservados y llevados en la carga útil de la ATM CS PDU.

La señalización utilizada para la PHS es llevada a cabo por los mensajes *Dynamic service addition* (DSA). Estos mensajes indican si es o no aplicada la PHS y también indican al momento de la creación de la conexión, y el modo de conmutación utilizado. En la figura A4.2 se muestra el formato de la cabecera ATM CS PDU para una conexión VP-switch. El VPI es mapeado a una CID excepto por los campos VCI, indicador de tipo de carga útil (PTI), y el campo de prioridad de pérdida de celda (CLP), los cuales son encapsulados en la cabecera ATM CS. Esto permite mantener los campos de la cabecera de la celda ATM. Para el caso de una conexión VC-switch (figura A4.2, sin el campo VCI) es similar al caso anterior con la diferencia que el campo VPI/VCI es mapeado a una CID.

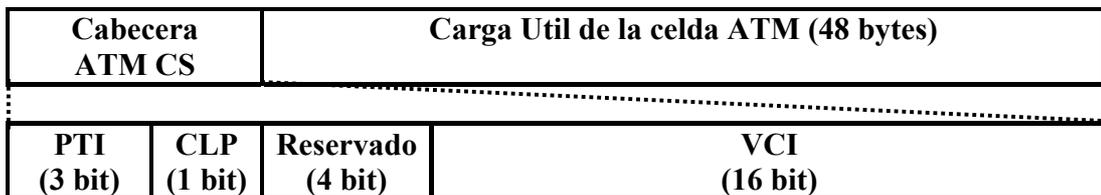


Figura A4.2. Formato de ATM CS PDU para una conexión VP-switch.

4.2.2. Packet PHS.

El procedimiento de supresión de cabeceras en la packet CS es realizado por la entidad que envía y restaurado por la entidad que recibe. El PHS suprime una porción de la cabecera de un paquete de capa superior según lo especificado en una regla de supresión (regla PHS) que es definida por las entidades de capa superior. En la cabecera de la MAC SDU se encuentra el campo indicador PHSI el cual indica si la supresión esta habilitada tomando un valor distinto de 0, el cual es asignado por la entidad que envía al crear la CID.

La entidad que envía mapeará los paquetes a un flujo de servicio particular, siempre y cuando este paquete tenga definida una regla PHS. La regla PHS define varios campos:

- Campo de supresión de cabecera (PHSF): contiene la cantidad de bytes de la cabecera original, este es restaurado por el PHS y la CID. A su vez este será asignado a la PHSI que lo restauró.
- Validación de supresión de cabecera (PHSV): verifica si la cabecera fue suprimida, comparando los bytes de la cabecera reconstruida con los bytes del PHSF.
- Máscara de supresión de cabecera (PHSM): permite fijar ciertos campos de la cabecera para que no sean suprimidos, ejemplo direcciones IP.
- Tamaño de supresión de cabecera (PHSS): indica el tamaño en bytes de la cabecera suprimida.

La operación de la PHS comienza con la clasificación de los paquetes, la cual cuenta con una lista de reglas clasificación. Un mapeo de la regla resultara en un flujo de servicio, una CID y una regla PHS. Todos los campos de de la regla PHS son restaurados por el campo PHSI y la CID. Estos campos permitirán a la entidad que recibe reconstruir la cabecera original.

4.2.2.1. Señalización para Packet PHS.

EL PHS requiere la creación del flujo de servicio, del clasificador, y la regla PHS. Estos pueden ser creados simultáneamente o en flujos de mensajes separados. Las reglas PHS son creadas con los mensajes DSA o los mensaje *Dynamic service change* (DSC). La BS define el PHSI cuando la regla PHS es creada. La regla PHS es borrada con el DSC o con el *Dynamic service deletion* (DSD). Las SSs o BSs pueden definir los PHSS y PHSF.

Para cambiar el valor de un PHSF en un flujo de servicio, una nueva regla PHS debe ser definida, y la vieja regla es borrada del flujo de servicio. A continuación se muestran en la figura A4.3 dos diagramas de señal donde se aprecia un ejemplo de la creación de las reglas de PHS tanto para la BS como para la SS.

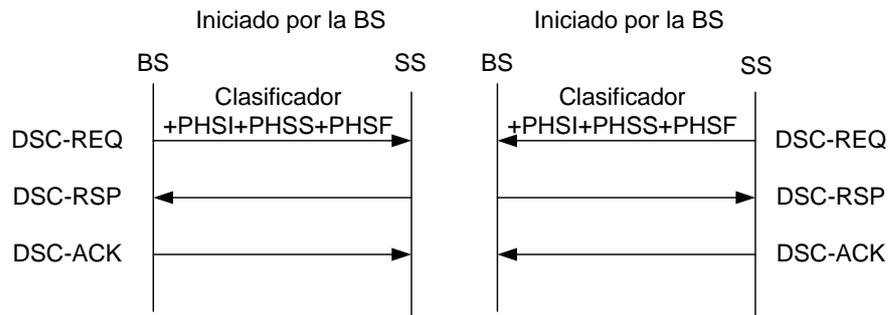


Figura A4.3. Ejemplo de señalización PHS.

[ANEXO N° 5]

[Especificaciones adicionales de capa de parte común MAC CPS]

5.1. Petición de repetición automática (ARQ).

El ARQ es un mecanismo que garantiza la integridad de las SDU en la transmisión. Este consiste en el envío de bloques en un tiempo estipulado de forma repetitiva hasta que el receptor envíe un mensaje de reconocimiento donde indique que todos los bloques que forman un SDU han sido recibidos satisfactoriamente. Si el mensaje es de no reconocimiento, el transmisor retransmite los bloques que fueron perdidos hasta completar la SDU (figura A5.1). Éste suele utilizarse en sistemas que no transmiten en tiempo real ya que el tiempo que se pierde en el reenvío puede no ser tolerado por servicios como VoIP y Video Stream. El ARQ es un mecanismo que es usado opcionalmente en la MAC, habilitado en la conexión básica y negociado durante la creación de la conexión con el ARQ feedback payload bit, alojado en el campo tipo de la cabecera genérica. Una conexión no puede tener una mezcla de PDU con ARQ habilitado y no habilitado y esta limitado a una conexión unidireccional.

Los bloques ARQ tienen un tamaño especificado por el parámetro de tamaño de bloque ARQ. Si la SDU es más grande que un bloque ARQ entonces será fragmentada. Finalmente estos bloques serán numerados y empaquetados de forma contigua en una PDU MAC (figura A5.1).

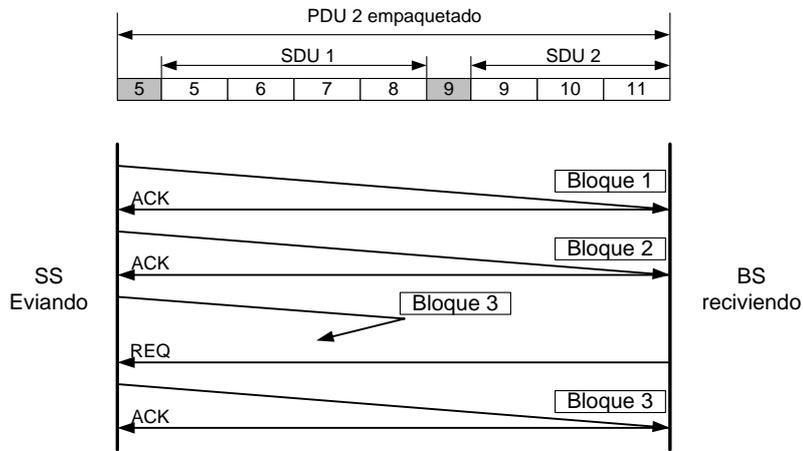


Figura A5.1. Operación del mecanismo ARQ en el Uplink.

5.2. Soporte MAC a la capa PHY.

5.2.1. FDD

En un sistema de FDD, los canales del Uplink y del Downlink están situados en frecuencias separadas y los datos del Downlink se pueden transmitir en ráfagas. Una trama de duración fija es utilizada para las transmisiones del Uplink y del Downlink. Esto facilita el uso de diversos tipos de la modulación. También se permiten transmisiones full-duplex y opcionalmente half-duplex. Si se utiliza el halfduplex, las SSs pueden escuchar el canal Downlink solamente cuando no está transmitiendo en el canal del Uplink. En la figura A5.2 se muestra un ejemplo de la ráfaga FDD para diferentes casos.

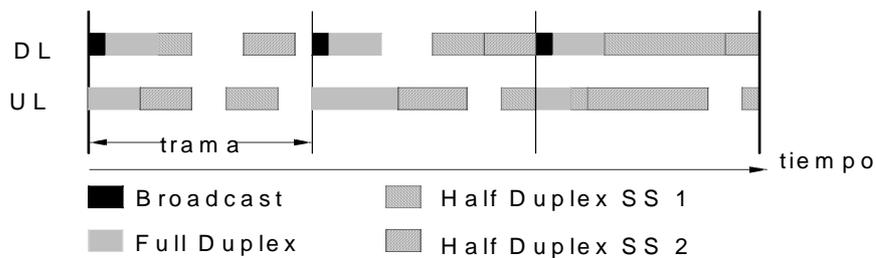


Figura A5.2. Ejemplo de ráfaga FDD.

5.2.2. TDD.

En el caso de TDD, las transmisiones del Uplink y del Downlink ocurren en diversos momentos y comparten generalmente la misma frecuencia. Una trama TDD (ver figura A5.3) tiene una duración fija y contiene una sub-trama Downlink y una sub-trama del Uplink. La trama se divide en un número entero de PSs (*physical slot*), que ayudan a repartir ancho de banda fácilmente. La formación de la trama TDD es adaptante en el sentido de que el ancho de banda asignado al Downlink contra el Uplink puede variar. La separación entre el Uplink y el Downlink es un parámetro del sistema y es controlada en capas superiores dentro del mismo.

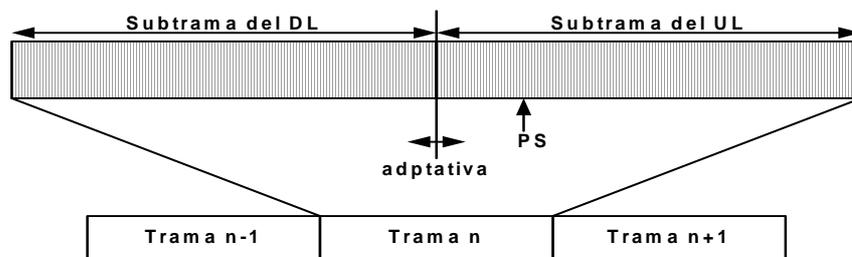


Figura A5.3. Ejemplo de una ráfaga TDD.

5.2.3. Mensajes DL-MAP y UL-MAP

El mensaje DL-MAP define el uso de los intervalos del downlink para un modo de ráfaga PHY. El UL-MAP define el uso del uplink en los términos del offset de las ráfagas, concerniente al parámetro de tiempo de inicio de colocación (*Allocation Star Time*) que indica el momento donde se alojara el UL-MAP. El UL-MAP se encarga de la sincronización del Uplink, la asignación de ancho de banda y la definición de intervalos del Uplink. La sincronización y el *Allocation Star Time* son referenciados al comienzo de la sub-trama Downlink y puede ser tal que el UL-MAP este alojado en la trama actual o futura (figura A5.4). Las SSs ajustarán siempre su concepto de sincronización del Uplink basado en los ajustes de sincronización enviados en los mensajes de RNG-RSP y en la asignación del Uplink para las capas

PHY OFDM. El mapa de asignación del ancho de banda usará unidades de símbolos y sub-canales.

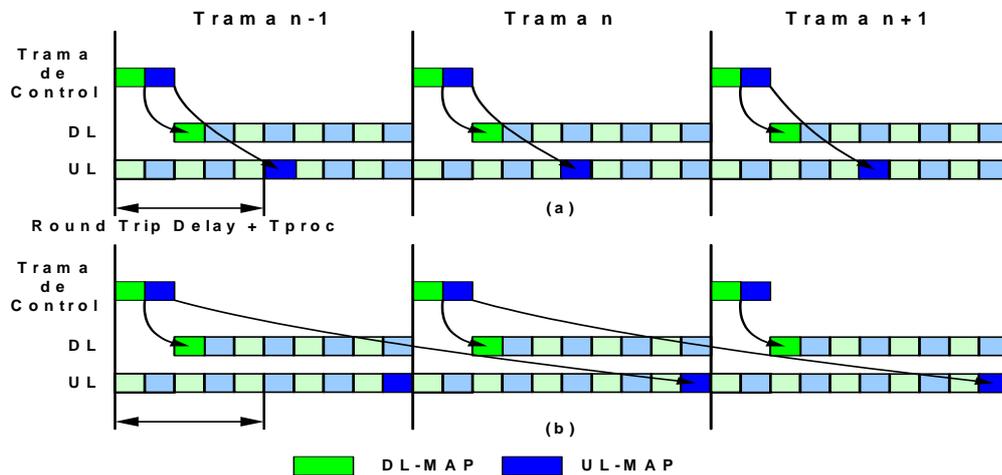


Figura A5.4. Colocación del UL-MAP para un mínimo (a) y un máximo (b) Allocation star time, para una trama FDD.

Los mensajes MAP están conformados por los elementos de información (IE). Estos definen los parámetros físicos, momentos y sincronización de los mensajes DL-MAP y UL-MAP, además de establecer las cualidades de conexión al momento de crearlas. Cada mensaje UL-MAP contendrá por lo menos un IE que fije el final de una ráfaga. Las IEs más utilizados para la entrada a la red son:

- **Request IE:** la BS especifica un intervalo del Uplink en el cual se puedan hacer las peticiones para ancho de banda para la transmisión de datos en el Uplink. El carácter de este IE cambia dependiendo del tipo de CID usado. Si es por difusión o por multicast, ésta es una invitación para que las SSs afirmen las peticiones. Si es unicast, ésta es una invitación para que las SSs particulares soliciten ancho de banda.
- **Initial ranging IE:** la BS especifica un intervalo en el cual las nuevas SS puedan incluirse a la red. Un intervalo, equivalente al retraso de propagación ida-vuelta (round trip delay) máximo más el tiempo de la transmisión del

mensaje de RNG-REQ, será proporcionado en algunos UL-MAP para permitir que las nuevas estaciones realicen inicio de ranging.

- **Data Grant Burst Type IEs:** proporciona una oportunidad a las SSs de transmitir una o más PDUs en el Uplink. El número de Data Grant Burst Type disponibles es específico de PHY. Cada descripción del Data Grant Burst Type se define en el mensaje de UCD.
- **End of Map IE:** termina todas las asignaciones reales en la lista del IE. Se utiliza para determinar la longitud del intervalo.
- **Gap IE:** indica las pausas en la transmisión del Uplink. Una SS no transmite durante estas pausas.

5.2.4. AAS-OFDM.

El sistema de antenas adaptativas consiste en el uso de más de un elemento de antena, para mejorar la capacidad del sistema, adaptando el patrón de antena y concentrando su radiación a cada suscriptor individualmente. La eficacia espectral se puede aumentar linealmente con el número de elementos de antena. Esto es alcanzado dirigiendo Hases a múltiples usuarios simultáneamente para realizar una reutilización de frecuencia inter-celda y un factor proporcional al número de los elementos de la antena. Una ventaja adicional es el aumento del cociente señal-ruido (SNR) realizado por una combinación coherente de múltiples señales y la capacidad de dirigir este aumento a los usuarios particulares.

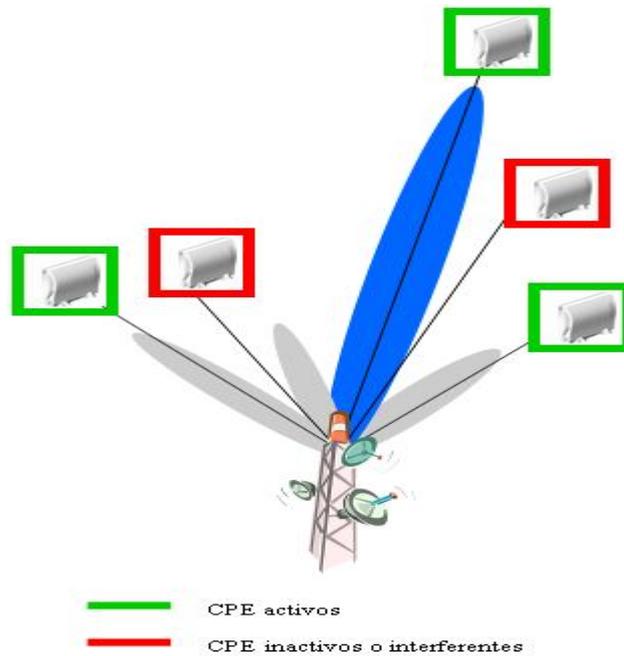


Figura A5.5. Sistema AAS.

Otra ventaja posible es la reducción de interferencia, alcanzado por el manejo de los nulos en dirección de los interferentes co-canal (figura A5.5). Combinar estas ventajas permite ráfagas que son transmitidas concurrentemente a las SSs separados espacialmente. En la dirección del Uplink se aplica el mismo principio de manera recíproca. Una transmisión concurrente de ráfagas no aumenta el rango del sistema pero puede incrementar la capacidad del sistema. Los mecanismos de soporte para el AAS son especificados, tal que permitan que un sistema tenga las ventajas de las antenas adaptativas manteniendo la compatibilidad con las SSs sin estas. La MAC proporciona soporte al sistema de antenas adaptativas en aspectos como funciones de control, sincronización, alertas y petición de ancho de banda. Este soporte es importante ya que en un sistema de Ases directivos la BS no sabe que SS esta solicitando entrada a la red, y por tanto, no esta apuntando los Ases a las SSs. Es por esto que las BSs AAS están en la obligación de hacer Polling por difusión regularmente, ya que el método de solicitud de ancho de banda por contención no es posible.

5.3. Resolución de Contención y Oportunidades de transmisión.

Cuando varias SS quieren entrar a la red, es muy posible que ocurran colisiones en el momento de iniciar el ranging o al solicitar ancho de banda. La BS controla las asignaciones en el canal Uplink a través de los mensajes UL-MAP y determina que minislots están sujetos a colisiones. Estos minislots son definidos en los elementos de información (IE) del UL-MAP. La ocurrencia potencial de colisiones en intervalos de petición es dependiente del CID especificado en el respectivo IE.

El método obligatorio de resolución de contención que será soportado es el algoritmo de retardo exponencial binario truncado (Truncate Binary Exponential Backoff). La BS define una ventana inicial de retardo y una ventana máxima de retardo. Este rango es un conjunto de oportunidades de transmisión. La cantidad de oportunidades de transmisión definidas en una ventana se especifican en el mensaje UCD y esta es representado por $(0, 2^B-1)$ donde B es un entero par. Por ejemplo, un valor de 4 indica una ventana de 16 oportunidades de transmisión.

Cuando las SSs desean incorporarse al proceso de resolución de contención fijan su ventana inicial de retardo y después seleccionarán aleatoriamente un número al azar que indica el número de oportunidades de transmisión que diferirán antes de transmitir. Puesto que las SSs pueden tener flujos de servicio múltiples en el Uplink (cada uno con su propio CID), estos tomarán estas decisiones por CID o por la prioridad QoS. Las SSs considerarán solamente las oportunidades de transmisión para las cuales esta transmisión haya sido elegible. Éstos son definidos por los Request IEs (o Inicial Ranging IEs para el inicio del ranging) en los mensajes UL-MAP. Un IE puede consistir de múltiples oportunidades de transmisión de contención. Después de una transmisión de contención, las SSs esperan por un Data Grant Burst Type IE en un UL-MAP siguiente (o esperan por un mensaje RNG-RSP para el ranging inicial). Una vez recibido, la resolución de contención es completada. En la figura A5.6 se muestra un ejemplo de la resolución de contención.

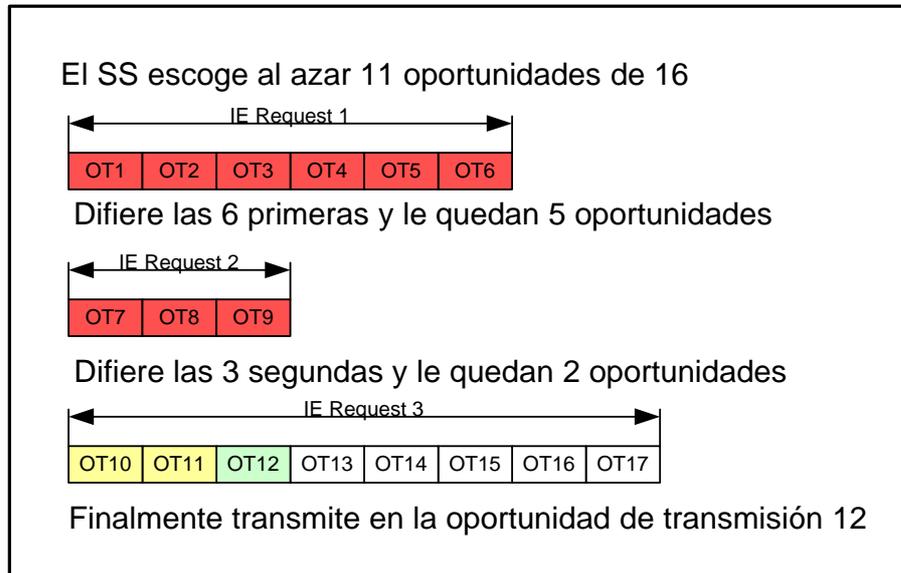


Figura A5.6. Ejemplo de resolución de contención hasta la ultima oportunidad.

[ANEXO N° 6]

[Especificaciones adicionales de capa física (PHY)]

6.1. Transmisor y Receptor OFDM.

Tanto el transmisor como el receptor, para la interfaz de aire WirelessMAN-OFDM 256 FFT, están conformados por tres etapas principales. La Primera es la etapa de codificación del canal donde se construyen los bloques codificados con FEC, la segunda es la etapa de mapeo QAM y modulación OFDM, la cual efectúa una conversión serie-paralelo de los bits de datos codificados del bloque FEC para después construir el símbolo OFDM, y tercera y última es la etapa RF en donde se hace una conversión Digital/Analógica, filtrado y la modulación en la portadora del canal. En el receptor estas etapas ocurren de manera contraria. En la figura A6.1 se muestra los diagramas de bloque del transmisor y el receptor.

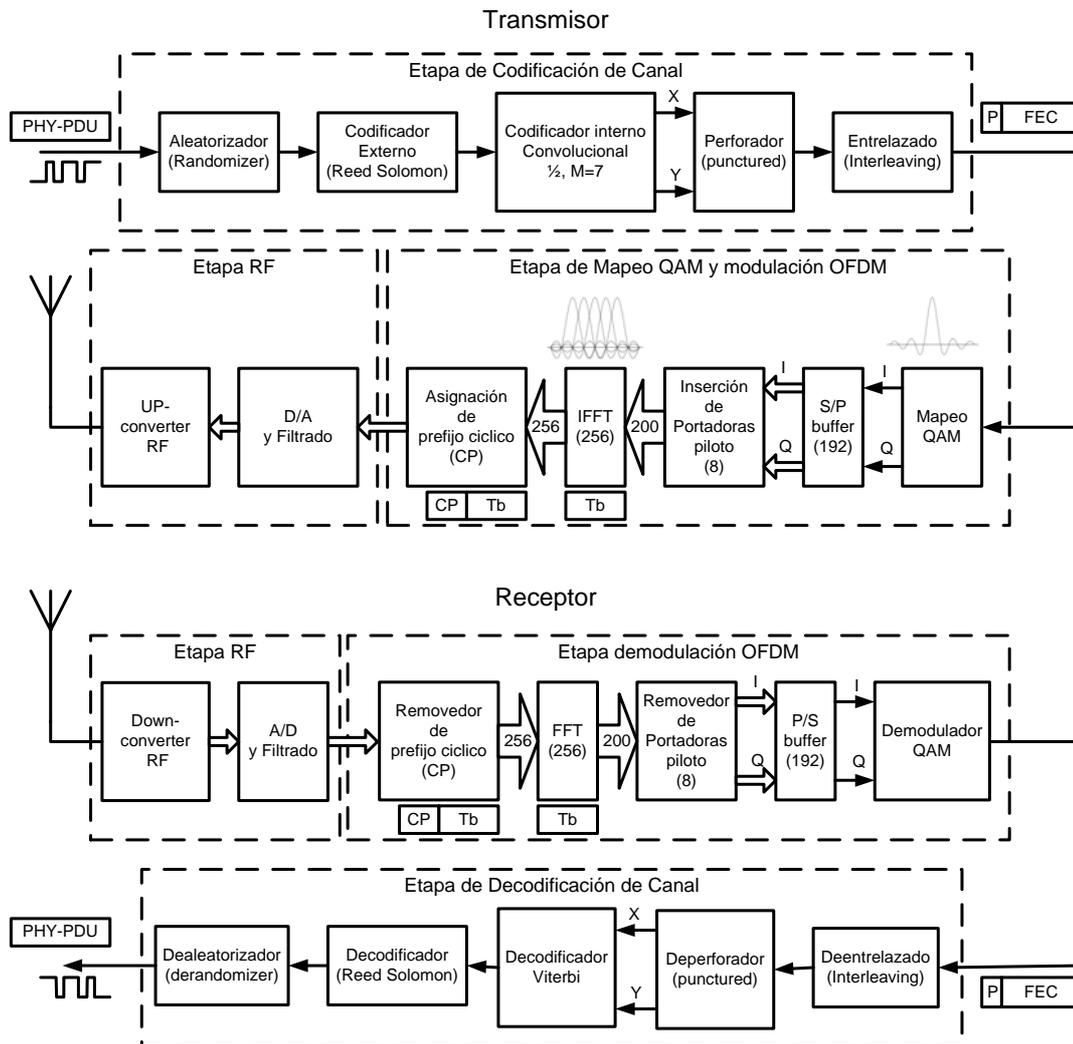


Figura A6.1. Diagrama de bloques de un transmisor y un receptor OFDM 256 FFT.

6.2. Codificación del Canal.

El proceso de codificación del canal en la transmisión está compuesto de tres etapas realizadas en este orden: Aleatorización, corrección de errores FEC y el entrelazado. Una vez realizada la codificación se procede al mapeo de los bloques codificados con una modulación digital. Para el receptor se realizará el proceso en el orden contrario.

6.2.1. Aleatorización

La aleatorización (*Randomization*) de los datos es un proceso ejecutado en cada ráfaga del Downlink y el Uplink para dispersar la energía en el espectro radiado. Esta es realizada por un aleatorizador (*randomizer*) en cada asignación de bloques de datos (los subcanales en el dominio de la frecuencia y símbolos de OFDM en el dominio de tiempo). El Aleatorizador es un generador de secuencias binarias pseudoaleatorias (PBRS) con un registro de desplazamiento normalizado que consta de quince etapas ($k=15$), con realimentación en las dos últimas etapas, por lo que el polinomio generador será $1+X^{14}+X^{15}$, el cual es inicializado en cada nueva asignación. Si la cantidad de datos a transmitir no ocupa exactamente la cantidad de datos asignados al bloque, este rellenará con unos al final del bloque (0xFF).

6.2.1.1. Generador de códigos pseudoaleatorios (PBRS)

El PBRS es un generador de secuencias binarias pseudoaleatorias que es utilizado para el ensanchado del espectro de frecuencia del canal. Estos códigos son creados por un polinomio generador cuyos coeficientes son equivalentes al número de realimentaciones. En la figura A6.2 se muestra un ejemplo de un PBRS que genera códigos a partir del polinomio $1+X^{14}+X^{15}$. El generador será re-inicializado en el comienzo de cada trama con una secuencia binaria.

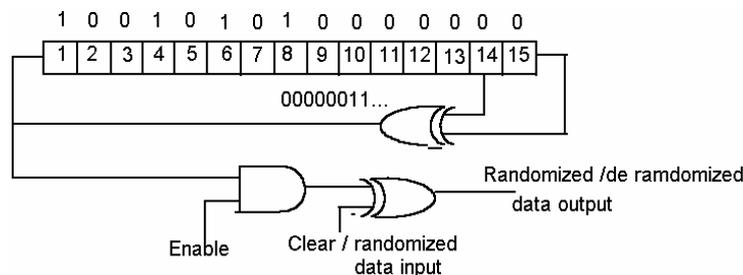


Figura A6.2. PBRS para aleatorización de datos.

6.2.2. Codificador FEC.

El proceso de corrección de errores hacia delante (FEC) consta de un codificador externo Reed-Solomon (RS) y un codificador interno convolucional, los cuales son soportados en el Uplink y el Downlink.

El codificador RS realiza una codificación no binaria de 256 bytes lo cual da un codificador RS(N=255,K=239,T=8), donde N es el total de bytes codificados, K es el numero de bytes que se codificaran y T es el numero de bytes que pueden ser corregidos. Cada bloque de RS es codificado por el codificador convolucional (CC) binario (figura A6.3).

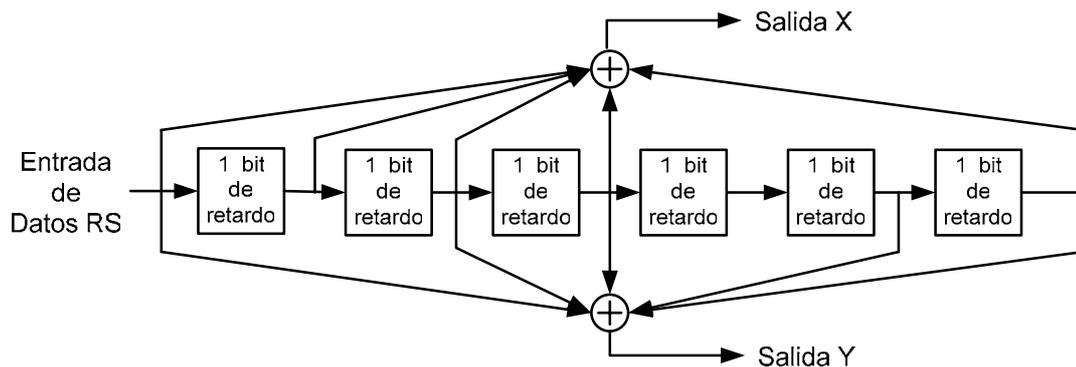


Figura A6.3. Codificador Convolucional 1/2.

Este tendrá una tasa de codificación nativa de 1/2, una longitud limitada 7 locaciones. De este se obtendrán una señal X y una señal Y generadas por generador de códigos polinomiales. Si la suma los datos de entrada con el dato de la locación correspondiente cuando el valor del polinomio generador es igual 0b1 el dato de entrada es usado, en caso contrario, cuando un valor es 0b0 se rechaza. El codificador convolucional introduce una gran redundancia que hace potente la corrección de errores pero en detrimento de la capacidad del canal. Para reducir la limitación del canal se utiliza el perforado (*puncturing*), el cual selecciona algunos datos para la

transmisión obtenidos de la salidas X y Y convirtiéndolos en una señal serial, en la tabla A6.1 se muestra la configuración de perforado dependiendo de la codificación convolucional.

Tabla A6.1. Código convolucional con configuración de perforación.

	Relación de codificación			
Señal	$\frac{1}{2}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{5}{6}$
X	1	10	101	10101
Y	1	11	110	11010
Perforada	$X1Y1$	$X1Y1Y2$	$X1Y1Y2X3$	$X1Y1Y2X3Y4X5$

En la recepción todos los procesos antes mencionados para la creación de los bloques se realizan de forma inversa excepto por la codificación convolucional. El proceso inverso es realizador por un decodificador de Viterbi. Finalmente la tasa de codificación total del bloque FEC será la multiplicación de la tasa de codificación del RS y del CC. En la tabla A6.2 se muestran todas las tasas de codificación utilizadas con el tamaño de los bloques codificados y sin codificar por modulación.

Tabla A6.2. Codificación obligatoria del canal por modulación.

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

6.2.3. Entrelazado (*Interleaving*).

Todos los bits de datos codificados serán entrelazados por un *interleaver* con un tamaño de bloque que corresponde al número de bits codificados por sub-canales

asignados por símbolo OFDM (N_{cbps}). El interleaver es definido por una permutación de dos pasos. El primer paso asegura que los bit codificados adyacentes en la trama no sean mapeados en subportadoras adyacentes. La segunda permutación asegura que los bit codificados adyacentes sean mapeados alternativamente en los bits menos y más significantes de la constelación, de esta manera se evitan las carreras y se anula la componente DC. En la tabla A6.3 se muestra el tamaño de los bloques de un bit interleaver. El primer bit entrelazado será el punto del bit más significativo de la constelación.

Tabla A6.3. Tamaños de bloques del Bit Interleaving.

Subcanales	16	8	4	2	1
	N_{cbps} (bits)				
BPSK	192	96	48	24	12
QPSK	384	192	96	48	24
16-QAM	768	384	192	96	48
64-QAM	1152	576	288	144	72

6.3. Modulación Adaptativa.

Después de concluir la codificación, los bit de datos son mapeados serialmente a constelaciones BPSK, QPSK, 16-QAM y 64-QAM según sea el perfil de ráfaga asignado para el enlace. Estas constelaciones son mostradas en la figura A6.4. Las constelaciones son normalizadas multiplicando cada punto de la constelación por un factor c para alcanzar igualar la potencia promedio. Para cada modulación el bit b_0 indica el bit menos significativo. La pre-asignación adaptativa de esquemas de modulación y codificación será soportada en el Downlink. El Uplink soportara diferentes esquemas modulaciones para cada SS basados en los mensajes de configuración de las ráfaga de capa MAC proveniente de la BS. La señal de datos será mapeada a la constelación hasta generar 192 señales de fase (I) y de cuadratura (Q), después cada una de esta será modulada a una sub-portadora asignada en orden de menor a mayor índice offset de frecuencia. Todos estos cambios de modulación

son gestionados por el soporte de la capa MAC definiendo cada perfil de ráfaga identificado por el parámetro Rate_ID cuyos valores son mostrados en la tabla 2.

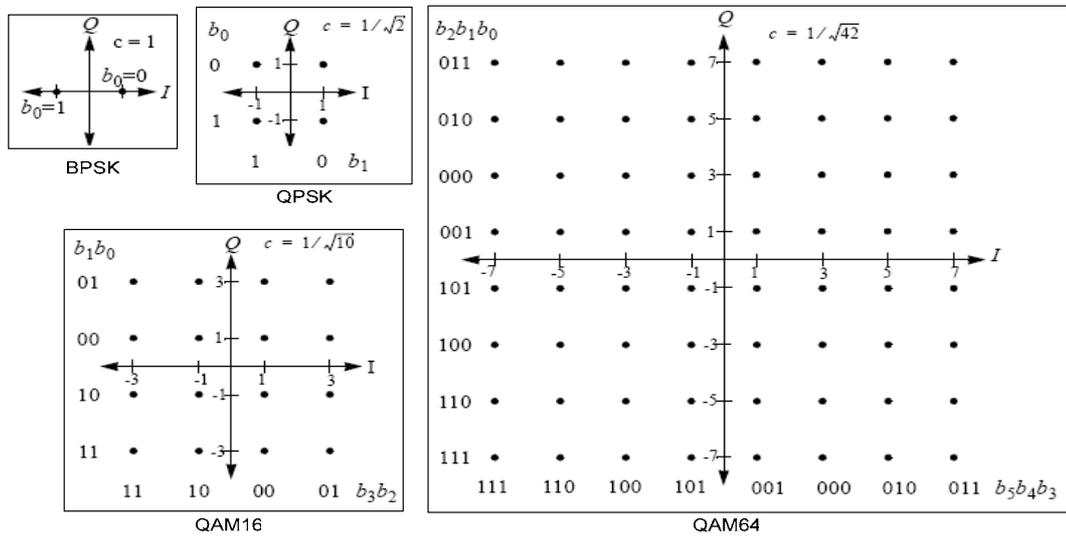


Figura A6.4. Constelaciones de las diferentes modulaciones soportadas y su respectivo factor de normalización c.

6.4. Sub-portadoras Pilotos.

Las subportadoras pilotos son insertadas dentro de cada ráfaga de datos para constituir el símbolo y ellas son moduladas de acuerdo a su asignación de portadoras dentro del símbolo OFDM. Estas son ubicadas por un generador PRBS el cual será usado para producir una secuencia w_k cuyo polinomio generador será $1+X^9+X^{11}$ (ver anexo N° 6 punto 6.2.1.1). El valor de la modulación piloto para un símbolo OFDM k es derivado de w_k . En el Downlink el índice k representa el índice relativo del símbolo para el comienzo de la subtrama del Downlink, y en el Uplink representa índice relativo del símbolo para el comienzo de la ráfaga. En ambos casos el primer símbolo del preámbulo es denotado como $k=0$. Las portadoras piloto sirven también para definir la sub-canalización en el símbolo.

6.5. Estructura del Preámbulo.

Todos los preámbulos se estructuran como uno o dos símbolos OFDM. Los símbolos OFDM son definidos por los valores de las subportadoras que lo componen. Cada uno de estos símbolos OFDM contiene un prefijo cíclico (CP), cuya longitud es igual a una porción de la cola del símbolo OFDM de datos en el tiempo y su nivel de potencia será 3dB mayor al utilizado por los símbolos que lo siguen.

El primer preámbulo de datos del Downlink en la Downlink PHY PDU (ver figura 14), así como el preámbulo de inicio de ranging, consisten de dos símbolos consecutivos de OFDM. El primer símbolo OFDM utiliza solamente las subportadoras cuyos índices offset de frecuencia son un múltiplo de 4. Consecuentemente, la forma de onda en el dominio de tiempo del primer símbolo consiste de cuatro repeticiones de fragmentos de 64 muestras, precedidas por un prefijo cíclico. El segundo símbolo de OFDM utiliza solamente pares de subportadoras, dando por resultado la estructura del dominio de tiempo integrada por dos repeticiones de fragmentos de 128 muestras precedidas por un CP. La estructura en el dominio de tiempo se muestra en la figura A6.5. Esta combinación de dos símbolos OFDM es llamada preámbulo largo.

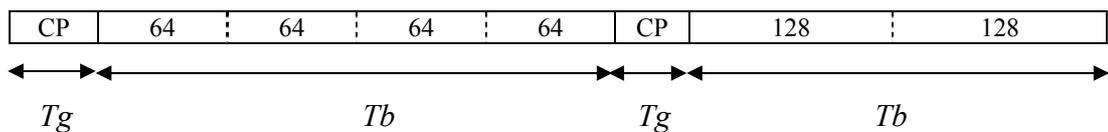


Figura A6.5. Estructura del preámbulo del Downlink y entrada a la red

En el Uplink cuando los 16 sub-canales son usados, el preámbulo de datos, constará de un solo símbolo OFDM utilizando solo las sub-portadoras pares, en el dominio del tiempo estará formado por dos fragmentos de 128 muestras. Este preámbulo se refiere como un preámbulo corto. Cuando se utiliza la sub-canalización,

el preámbulo es corto de 256 muestras precedido por un CP de tamaño igual al utilizado en los símbolos OFDM de datos.

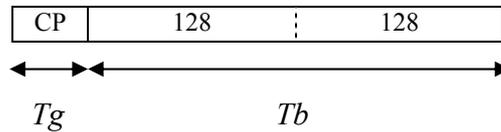


Figura A6.6. Estructura del preámbulo del Uplink

Cuando el sistema de antenas adaptativas es usado, se define un preámbulo AAS compuesto por dos símbolos OFDM idénticos. Cada símbolo será transmitido hasta por cuatro Ases. Los mismos Ases son usados en el primer y segundo símbolo. Este preámbulo es usado para marcar los slot de la zona AAS Downlink y ejecutar la estimación del canal. Por último si la diversidad es múltiple antenas transmitiendo y una recibiendo MISO es utilizada, se envía un preámbulo STC (ver anexo N° 6 punto 6.7) el cual consta de un símbolo OFDM que comienzan con un preámbulo y que finalizan dentro de la región STC-codificada en transmisión con diversidad, el preámbulo será transmitido en ambas antenas transmisoras simultáneamente. En la primera antena se enviara en las sub-portadoras pares y en la segunda en las impares.

6.6. Subcapa de convergencia de transmisión. (TC).

La subcapa de convergencia de transmisión (TC) reside entre la capa PHY y la capa MAC y es usada de forma opcional cuando se quiere bloques FEC sean de tamaño constante. Esta capa realiza la transformación de las PDU MAC de longitud variable en bloques FEC de longitud fija. La carga útil del Downlink será segmentada en bloques de datos, diseñados para ocupar una palabra código FEC de tamaño apropiado presidida por un campo llamado P de un byte de longitud (figura A6.7). La longitud de la carga útil puede variar, dependiendo de si el acortamiento de las palabras código es o no permitido en el perfil de ráfaga. El campo del puntero identifica el número de bytes en el paquete, el cual indica el principio de la primera

MAC PDU al comienzo del paquete o el principio de cualquier byte que preceda la MAC PDU siguiente. Cuando no se transmiten datos, un patrón de bytes con un valor de 0xFF son usados como la carga útil para llenar cualquier vacío entre las MAC PDUs.

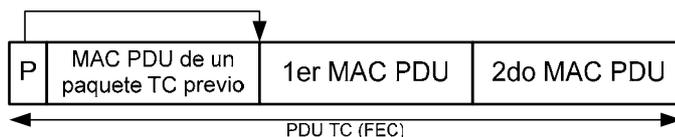


Figura A6.7. Formato de una TC PDU.

6.7. Transmisión con diversidad.

La codificación Espacio-Tiempo (STC)¹ se puede utilizar en el downlink para proporcionar transmisión con diversidad de segundo orden. La diversidad consiste de dos antenas transmitiendo en el lado del BS y una antena recibiendo en el lado del SS. Este esquema requiere estimación de canal de salida múltiple y entrada simple (Single. Input Single Output, SIMO). En la figura A6.8 se muestra un transmisor OFDM con STC. Cada antena del Tx tiene su propio modulador OFDM, pero tienen el mismo oscilador local para los propósitos de sincronización. Ambas antenas transmiten en el mismo tiempo en dos diferentes símbolos OFDM. La transmisión se realiza dos veces para descifrar y para conseguir la diversidad de segundo orden. Se utiliza la repetición en dominio de tiempo para concebir una codificación Espacio-Tiempo.

¹ véase Alamouti [B1]

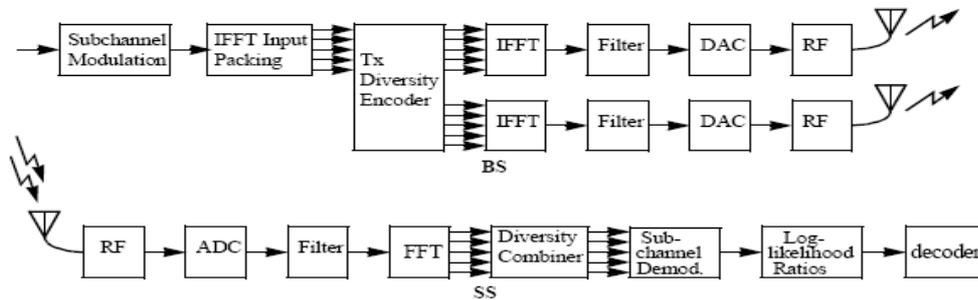


Figura A6.8. Transmisor y receptor OFDM con STC.

La codificación STC consiste en el esquema básico Alamouti [B1], el cual transmite dos símbolos complejos s_0 y s_1 , usando un canal SIMO (dos Tx, un Rx) dos veces con los valores h_0 (para la antena 0) y h_1 (para la antena 1) del vector del canal. En el primero símbolo se envía el conjugado de h_0 por el canal de la primera antena y h_1 por el canal de la segunda antena. En el segundo símbolo se envía el conjugado de h_1 en canal de la primera antena y h_0 en el canal de la segunda antena.

6.8. Medición de RSSI y el CINR.

Cuando la colección de medidas de RSSI y CINR es asignada por mandato del BS, los SS obtendrán una sucesión de medidas de RSSI y CINR de los preámbulos del Downlink. De una sucesión de medidas de ambos parámetros, los SS derivarán y actualizarán las estimaciones de la media y la desviación estándar del RSSI y de CINR, y lo divulgaran vía los mensajes de reporte REP-RSP. Las estadísticas de la media y la desviación estándar serán divulgadas en unidades de dBm para el RSSI y dB para el CINR.

Para preparar los informes de RSSI, la estadística será cuantificada en incrementos de 1 dB, extendiéndose a partir del -40 dBm hasta -123 dBm. Y para preparar los informes de CINR, la estadística será cuantificada en incrementos de 1 dB, extendiéndose de un mínimo de -10 dB a un máximo de 53 dB. Los valores fuera de este rango serán asignados al valor extremo más cercano dentro de la escala.

[ANEXO N° 7]

[WiMAX y otras tecnologías de banda ancha inalámbrica]

WiMAX se ha convertido en una tecnología inalámbrica tan eficiente como las soluciones cableadas de banda ancha actuales, que ocupan casi el total de la demanda de servicios BA, esto debido a que es la única capaz de poder ofrecer de 1 a 3 Mbps por usuario con la ventaja adicional de tener en un futuro cercano la posibilidad de movilidad total. Las únicas tecnologías que ofrecen la posibilidad de conexiones con completa movilidad, son las tecnologías celulares pero las capacidades de transmisión de datos por usuario son muy inferiores comparadas con WiMAX, descartando estas como las tecnologías definitivas de BWA a futuro. En la tabla A7.1 se muestra una comparativa de WiMAX y otras tecnologías inalámbricas.

Tabla A7.1. Comparación de WiMAX con otras tecnologías inalámbricas.

Tecnología	Celular ¹			WiMAX ¹	
	EDGE	HSPDA	1xEVDO	802.16-2004	802.16e
Familia tecnológica	TDMA	WCDMA (5Mhz)	CDMA2K	OFDM /OFDMA	Escalable a OFDMA
Modulación	GSMK y 8-PSK	QPSK y 16QAM	QPSK y 16QAM	BPSK a 64QAM Adaptativa	BPSK a 64QAM Adaptativa
Tasa de datos pico	473 kbps	10.8 Mbps	2.4 Mbps	75 Mbps Max (canal de 20MHz)	75 Mbps Max (canal de 20 MHz)
Capacidad promedio por usuario	<130kbps kbps	<750kbps	<149kbps	1-3Mbps con capacidad fraccionar.	80% de los modelos realizados para uso fijo
Rango promedio por celda	2-10 kms	2-10 kms	2-10 kms	7-10 kms NLOS >50kms LOS	1-7kms NLOS
Ancho de banda de Canal	200 KHz	5MHz	1.25 MHz	1.5-20 MHz	1.5-20 MHz

¹ Datos extraídos de [9].