

**ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO**

**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA  
Y TELECOMUNICACIONES**

**PROYECTO DE GRADO PARA LA OBTENCIÓN DEL  
TÍTULO DE INGENIERÍA**

**ANÁLISIS DEL ESTÁNDAR IEEE 802.20 (MBWA) Y SU  
COMPARACIÓN CON TECNOLOGÍAS DE ACCESO  
INALÁMBRICAS DE TERCERA GENERACIÓN  
IMPLEMENTADAS EN EL ECUADOR**

**FRANCISCO XAVIER FLORES MORENO**

**SANGOLQUI - ECUADOR**

**2011**

## CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente proyecto de grado fue realizado en su totalidad por el Sr. Francisco Xavier Flores Moreno bajo nuestra dirección.

---

Ing. Paúl Bernal  
**DIRECTOR**

---

Ing. Freddy Acosta  
**CODIRECTOR**

## RESUMEN

El presente proyecto de investigación incorpora una descripción bastante específica y detallada de todas las características tanto de los sistemas de acceso inalámbrico de banda ancha móvil (MBWA) definidos en el Estándar IEEE 802.20 como de los sistemas inalámbricos de tercera generación UMTS, descripción que incluye arquitecturas de red y protocolos, especificaciones de Capa Física y Capa MAC, procedimientos de seguridad, *handoff*, control de potencia, gestión de calidad de servicio, y mecanismos para el manejo de la eficiencia espectral y la asignación de recursos.

El enfoque del proyecto está orientado a realizar un análisis de las características técnicas de los sistemas MBWA para establecer un estudio comparativo con UMTS centrado precisamente en esas características y especificaciones técnicas, y que adicionalmente permita establecer un panorama claro en cuanto a los servicios y aplicaciones que pueden ser ofrecidos por cada una de las tecnologías estudiadas.

Finalmente se incluye un análisis que permite determinar la aplicabilidad que podría tener la tecnología *Mobile Fi* en el país en función de sus características, de los servicios y aplicaciones que puede ofrecer, y de los beneficios que dichas características y aplicaciones podrían proporcionar.

Además de las consideraciones estrictamente técnicas y de servicios, se tomaron en cuenta también consideraciones socio-económicas, regulatorias, y de facilidad de acceso a servicios de telecomunicaciones en el país; aspectos que serían determinantes para facilitar o dificultar el despliegue de los sistemas MBWA.

*A mis padres, Aída y Napoleón,  
porque con su ejemplo y dedicación supieron  
enseñarme que el esfuerzo y el trabajo honesto  
siempre dejan sus frutos,  
A mis hermanas María de los Ángeles y  
Cristina, y a mi hermano Santiago,  
que siempre han estado junto a mí,  
dispuestos a brindarme su cariño y apoyo  
incondicional aún en los momentos en que  
seguramente no era merecedor de ellos,  
A todos quienes de alguna manera me  
ayudaron a crecer,  
como estudiante y como ser humano,  
enseñándome que todo en la vida se  
puede conseguir,  
si se lo busca con verdadera pasión y entrega.*

## AGRADECIMIENTOS

A Dios, no solamente por haberme regalado la vida y una segunda oportunidad para continuar con mis proyectos de vida, sino también por haberme regalado la capacidad de soñar y sobre todo de tener la posibilidad de convertir esos sueños en realidad.

Gracias a mi padre, por ser un hombre ejemplar que no con palabras sino con acciones me ha inculcado los más altos valores humanos para hacer de mí el hombre que hoy por hoy soy; gracias a mi madre, por ser esa amiga, esa consejera, esa cómplice que siempre ha estado dispuesta a escucharme y que en todo momento ha tenido una palabra de aliento y un gesto de cariño y que ha llenado siempre mi vida de la ternura que a toda persona le gustaría tener; gracias a mis hermanas y hermano porque siempre han sido un excelente ejemplo para mí y porque además de su amistad y cariño me han ofrecido su apoyo incondicional; gracias a mi pequeña sobrina que con sus ocurrencias ha llenado mi vida de la alegría y la inocencia que con el paso de los años lamentablemente se van perdiendo.

Gracias a mis queridos amigos y amigas, por haberme acompañado a celebrar los momentos más felices de mi vida y por haberme ayudado también a superar los más tristes, gracias por todas y cada una de las experiencias vividas porque con cada una de ellas fui aprendiendo a crecer como persona y gracias por la confianza con la cual me han impulsado a seguir adelante a pesar de las dificultades.

Un agradecimiento especial a los ingenieros Paúl Bernal y Freddy Acosta porque además de mis directores se han convertido en dos buenos amigos.

Finalmente quiero agradecer a una persona muy especial que se convirtió en alguien muy importante para mí y que con su presencia además de alegrarme la existencia me inspiró a sacar lo mejor de mí en todos los sentidos, de corazón muchas gracias...

*Francisco Xavier*

## PRÓLOGO

Tomando en consideración el panorama de constante evolución tanto de tecnologías como de servicios y aplicaciones, el Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE) desarrolla el Estándar 802.20 para redes inalámbricas de banda ancha móvil basadas en paquetes y optimizadas para el transporte de servicios basados en IP. Las prestaciones que ofrece *Mobile Fi* son de muy alto nivel, por lo que puede ser considerada como el presente y el futuro de las comunicaciones inalámbricas de banda ancha móvil en reemplazo o complemento de otras tecnologías similares como UMTS.

Tomando en cuenta estas consideraciones, el desarrollo y futura implementación de la tecnología *Mobile Fi* para el acceso inalámbrico de banda ancha móvil, son de vital importancia para impulsar el sector de las telecomunicaciones en el país; ya que la gran demanda de servicios de datos para terminales móviles es probablemente la principal fuente de crecimiento del sector en la actualidad.

Es necesario propiciar el desarrollo de las telecomunicaciones en el Ecuador, y ante el inminente crecimiento de *Mobile Fi*, es muy importante empezar a promover el conocimiento de esta tecnología y de sus principales características; y en este sentido resulta de vital importancia la realización de un estudio de este tipo, que investigue detalladamente esta tecnología y muestre de una manera completa pero concisa sus características, funcionalidades, ventajas, desventajas, aplicaciones y servicios; y que además establezca un estudio comparativo de MBWA con UMTS como principal referente de las tecnologías de tercera generación implementadas en el Ecuador, y un análisis que permita determinar la aplicabilidad que podría tener esta nueva tecnología en el país en función de sus características y beneficios.

La utilidad de este estudio es que además de propiciar el adecuado conocimiento de las características de MBWA, constituye una herramienta que a futuro puede utilizarse al momento de realizar las consideraciones para su posible implementación.

# Índice

<b>Glosario</b>	<b>xxiv</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
1.1. Introducción General . . . . .	1
1.2. El Estándar IEEE 802.20 . . . . .	3
1.2.1. Definición . . . . .	3
1.2.2. Propósito . . . . .	4
1.2.3. Alcance . . . . .	5
1.3. Principales Características y Especificaciones de MBWA . . . . .	5
1.4. Modos de Funcionamiento de la Tecnología . . . . .	9
1.5. Introducción al Modo de Operación <i>Wideband</i> . . . . .	9
1.6. Introducción al Modo de Operación 625k-MC . . . . .	11
<b>2. ESTÁNDAR IEEE 802.20 PARA SISTEMAS DE ACCESO INALÁMBRICO DE BANDA ANCHA MÓVIL</b>	<b>14</b>
2.1. Modo de Operación <i>Wideband</i> . . . . .	14
2.1.1. Arquitectura de Red y Protocolos . . . . .	14
2.1.1.1. Modelo de Referencia de la Arquitectura de Red . . . . .	14
2.1.1.2. Arquitectura de Protocolos . . . . .	18

2.1.1.3.	Entramado de Paquetes . . . . .	21
2.1.1.4.	Sesión y Conexión de Terminales de Acceso . . . . .	22
2.1.2.	Especificaciones de la Capa de Control de Acceso al Medio . . . . .	23
2.1.2.1.	Subcapa de Control de Sesión . . . . .	23
2.1.2.2.	Subcapa de Convergencia . . . . .	38
2.1.2.3.	Subcapa de Control de Seguridad . . . . .	47
2.1.2.4.	Subcapa de Seguridad . . . . .	49
2.1.2.5.	Subcapa de Control MAC Inferior . . . . .	56
2.1.2.6.	Subcapa MAC Inferior . . . . .	71
2.1.3.	Especificaciones de la Capa Física . . . . .	81
2.1.3.1.	Estructura de los Canales de Capa Física . . . . .	83
2.1.3.2.	Estructura de la Trama FDD . . . . .	88
2.1.3.3.	Estructura de la Trama TDD . . . . .	94
2.1.3.4.	Codificación y Modulación . . . . .	100
2.1.3.5.	Gestión y Asignación de Recursos . . . . .	111
2.1.3.6.	Adquisición . . . . .	114
2.1.3.7.	Salto de Frecuencia . . . . .	116
2.1.3.8.	Enlace Inverso Cuasi-Ortogonal . . . . .	119
2.1.3.9.	Reutilización Fraccional de Frecuencias . . . . .	123
2.1.3.10.	Planificación de Sub-banda . . . . .	126
2.1.3.11.	Ancho de Banda Escalable . . . . .	128
2.1.3.12.	Control de Potencia . . . . .	131
2.1.4.	Eficiencia Espectral . . . . .	134



2.1.4.1.	MIMO . . . . .	134
2.1.4.2.	Pre-codificación . . . . .	138
2.1.4.3.	<i>Beamforming</i> para Sistemas MBWA TDD . . . . .	142
2.1.4.4.	SDMA . . . . .	143
2.1.5.	Características Adicionales de MBWA <i>Wideband</i> . . . . .	147
2.1.5.1.	Calidad de Servicio . . . . .	148
2.1.5.2.	Paginación . . . . .	150
2.1.5.3.	Seguridad . . . . .	154
2.1.5.4.	<i>Handoff</i> . . . . .	156
2.1.5.5.	<i>Handoff</i> Inter-Frecuencia e Inter-Tecnología de Acceso de Radio . . . . .	162
2.2.	Modo de Operación 625k-MC o <i>Best-Wine</i> . . . . .	164
2.2.1.	Arquitectura de Red y Protocolos . . . . .	165
2.2.1.1.	Modelo de Referencia de la Arquitectura de Red . . . . .	165
2.2.1.2.	Arquitectura del Sistema . . . . .	166
2.2.1.3.	Arquitectura de Protocolos . . . . .	167
2.2.2.	Especificaciones de la Capa Física . . . . .	169
2.2.2.1.	Estructura de la Trama y Ranura de Tiempo . . . . .	169
2.2.2.2.	Codificación y Modulación . . . . .	172
2.2.2.3.	Soporte de Antenas Adaptativas . . . . .	176
2.2.3.	Especificaciones de la Capa de Control de Acceso al Medio . . . . .	177
2.2.3.1.	Canales Lógicos y Tipos de Ráfaga . . . . .	178
2.2.4.	Especificaciones de la Capa de Control de Enlace de Datos y de Enlace Lógico . . . . .	182

2.2.4.1.	Control de Potencia y Adaptación del Enlace . . . . .	183
2.2.5.	Características Adicionales de MBWA 625k-MC . . . . .	185
2.2.5.1.	Calidad de Servicio . . . . .	185
2.2.5.2.	<i>Handoff</i> . . . . .	186
2.2.5.3.	Seguridad . . . . .	187
<b>3.</b>	<b>SISTEMA UNIVERSAL DE TELECOMUNICACIONES MÓVILES</b>	<b>189</b>
3.1.	Introducción General . . . . .	189
3.2.	Principales Características y Especificaciones de UMTS . . . . .	191
3.3.	Arquitectura de Red y Protocolos . . . . .	193
3.3.1.	Modelo de Referencia de la Arquitectura de Red . . . . .	194
3.3.2.	Arquitectura de Servicios Abierta en UMTS . . . . .	196
3.3.3.	Arquitectura de Red de UMTS . . . . .	198
3.3.3.1.	Red Central . . . . .	200
3.3.3.2.	Red UTRAN . . . . .	205
3.3.3.3.	Estación Móvil . . . . .	207
3.3.4.	Arquitectura de Protocolos . . . . .	209
3.3.4.1.	Capas . . . . .	209
3.3.4.2.	Protocolos . . . . .	211
3.3.4.3.	Interfaces . . . . .	219
3.4.	Especificaciones de la Capa de Red . . . . .	223
3.4.1.	Subcapa RRC . . . . .	223
3.5.	Especificaciones de la Capa de Enlace . . . . .	225

3.5.1.	Subcapa PDCP . . . . .	225
3.5.2.	Subcapa BMC . . . . .	226
3.5.3.	Subcapa RLC . . . . .	227
3.5.4.	Capa de Control de Acceso al Medio . . . . .	230
	3.5.4.1. Servicios de la Capa MAC . . . . .	232
	3.5.4.2. Funciones de la Capa MAC . . . . .	232
3.6.	Especificaciones de la Capa Física . . . . .	236
3.6.1.	Modos de Funcionamiento . . . . .	238
	3.6.1.1. Modo TDD . . . . .	238
	3.6.1.2. Modo FDD . . . . .	239
	3.6.1.3. Tipos de Celdas, Alcances y Velocidades en UMTS . . . . .	240
3.6.2.	Estructura de la Trama UMTS . . . . .	241
3.6.3.	Canales en WCDMA para UMTS . . . . .	244
	3.6.3.1. Canales Lógicos . . . . .	245
	3.6.3.2. Canales de Transporte . . . . .	246
	3.6.3.3. Canales Físicos . . . . .	247
	3.6.3.4. Mapeo de Canales . . . . .	249
3.6.4.	Funciones de la Capa Física . . . . .	251
	3.6.4.1. Codificación y Decodificación FEC . . . . .	251
	3.6.4.2. Mediciones de Radio e Indicación a las Capas Superiores . . . . .	252
	3.6.4.3. Macrodiversidad . . . . .	253
	3.6.4.4. Ajuste de la Tasa de Datos . . . . .	255
	3.6.4.5. <i>Spreading</i> o Ensanchamiento de Canales Físicos . . . . .	255

3.6.4.6.	Modulación . . . . .	258
3.6.4.7.	Control de Potencia . . . . .	259
3.6.5.	Asignación del Espectro y Reutilización de Frecuencias . . . . .	262
3.6.5.1.	Asignación del Espectro . . . . .	262
3.6.5.2.	Reutilización de Frecuencias . . . . .	263
3.6.6.	Diversidad . . . . .	263
3.6.6.1.	Diversidad en Tiempo . . . . .	264
3.6.6.2.	Diversidad Multitrayecto . . . . .	265
3.6.6.3.	Diversidad de Antenas . . . . .	265
3.7.	Características Adicionales de UMTS . . . . .	268
3.7.1.	Calidad de Servicio . . . . .	268
3.7.1.1.	Clases de QoS . . . . .	269
3.7.2.	Seguridad . . . . .	274
3.7.3.	Paginación . . . . .	276
3.7.4.	Handoff . . . . .	277
<b>4.</b>	<b>ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE MBWA Y UMTS PARA EL AC-</b>	
	<b>CESO DE BANDA ANCHA MÓVIL</b>	<b>283</b>
4.1.	Comparación de Características, Arquitecturas y Especificaciones . . . . .	283
4.1.1.	Características Básicas . . . . .	283
4.1.1.1.	Especificaciones Principales . . . . .	283
4.1.2.	Arquitecturas de Red . . . . .	288
4.1.2.1.	Comparación de los Modelos de Arquitectura de Red . . . . .	288
4.1.3.	Capa Física . . . . .	291

4.1.3.1.	Estructura de las Tramas . . . . .	294
4.1.4.	Capa MAC . . . . .	297
4.1.5.	Características Adicionales . . . . .	302
4.1.5.1.	Eficiencia Espectral . . . . .	302
4.1.5.2.	Calidad de Servicio (QoS) . . . . .	305
4.1.5.3.	Seguridad . . . . .	308
4.1.5.4.	Paginación . . . . .	312
4.1.5.5.	Control de Potencia . . . . .	314
4.1.5.6.	<i>Handoff</i> . . . . .	316
4.2.	Comparación de Requerimientos de Sistema, Aplicaciones y Servicios . . .	319
4.2.1.	Requerimientos de Sistema . . . . .	319
4.2.2.	Requerimientos Espectrales . . . . .	327
4.2.3.	Servicios . . . . .	329
4.2.3.1.	Servicios Básicos de Telecomunicaciones . . . . .	330
4.2.3.2.	Servicios Suplementarios . . . . .	332
4.2.3.3.	Servicios de Valor Agregado . . . . .	332
4.2.3.4.	Consideraciones Adicionales . . . . .	333
4.2.4.	Aplicaciones . . . . .	334
<b>5.</b>	<b>ANÁLISIS PARA LA CONSIDERACIÓN DE UNA POSIBLE IMPLI-</b>	
	<b>MENTACIÓN DE MBWA EN EL ECUADOR</b>	<b>340</b>
5.1.	Introducción . . . . .	340
5.2.	Consideraciones para la Aplicabilidad de MBWA en el Ecuador . . . . .	341
5.2.1.	Consideraciones Generales . . . . .	341

5.2.2. Consideraciones Socio-Económicas y de Acceso a Servicios de Tele- comunicaciones . . . . .	346
5.2.3. Ventajas y Desventajas . . . . .	351
5.3. Marco Regulatorio en el País y utilización del Espectro Radioeléctrico . . .	353
5.3.1. Visión General de la Regulación en el País . . . . .	353
5.3.2. Situación Actual de las Bandas de Frecuencia utilizadas por <i>Mobile Fi</i>	358
<b>6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	<b>363</b>
6.1. Conclusiones . . . . .	363
6.2. Recomendaciones . . . . .	367
<b>Referencias Bibliográficas</b>	<b>369</b>

## Índice de Tablas

1.1. Características Técnicas de MBWA . . . . .	8
2.1. Atributos simples asociados con el protocolo . . . . .	36
2.2. Protocolos Activos por estado del Protocolo de Gestión de Enlace de Aire . . . . .	61
2.3. Parámetros del Protocolo de Gestión de <i>Active Set</i> . . . . .	68
2.4. Numerología Básica para FDD . . . . .	89
2.5. Numerología de Supertrama FDD . . . . .	90
2.6. Numerología Básica para TDD . . . . .	95
2.7. Numerología de Supertrama TDD . . . . .	96
2.8. Formatos de Paquete para el Enlace de Bajada en Modo SISO . .	110
2.9. Formatos de Paquete para el Enlace de Subida . . . . .	111
2.10. Funciones de las Capas del Modo 625k-MC . . . . .	168
2.11. Esquemas de Modulación en los Canales Lógicos . . . . .	173
2.12. Tipos de Modulación y Tasas de Codificación . . . . .	175
2.13. Tasas de Datos de Usuario por Clase de Modulación . . . . .	175
2.14. Tipos de Ráfagas . . . . .	178
2.15. Clases de Servicio QoS . . . . .	186

3.1. Esquemas de Codificación de Canal utilizados en UTRAN . . . . .	251
3.2. Asignación de Bandas de Frecuencia para UMTS . . . . .	262
3.3. Clases de QoS y sus Aplicaciones . . . . .	273
4.1. Comparación entre el Estándar IEEE 802.20 y 3G . . . . .	287
4.2. Comparación de Tramas y Supertramas de MBWA y UMTS . . . . .	297
4.3. Requerimientos de Eficiencia Espectral de MBWA . . . . .	321
4.4. Tamaño de los Bloques de Asignación en MBWA . . . . .	322
4.5. Requerimientos de Tasas de Transmisión en MBWA . . . . .	322
5.1. Posibles Bandas de Frecuencia para el despliegue de Sistemas MBWA 802.20 . . . . .	361



## Índice de Figuras

2.1. Modelo de Referencia de la Arquitectura del Modo <i>Wideband</i> . . .	15
2.2. Arquitectura de Red para MBWA <i>Wideband</i> . . . . .	16
2.3. Arquitectura de Capas y Protocolos de la interfaz de aire MBWA	18
2.4. Protocolos en cada subcapa . . . . .	19
2.5. Entramado de Paquetes en MBWA . . . . .	21
2.6. Protocolos de la Subcapa de Control de Sesión . . . . .	24
2.7. Diagrama de estados del protocolo de Gestión de Sesión en un AT	26
2.8. Diagrama de estados del protocolo de Gestión de Sesión en una AN . . . . .	27
2.9. Diagrama de estados del protocolo de Gestión de Dirección en un AT . . . . .	29
2.10. Diagrama de estados del protocolo de Gestión de Dirección en una AN . . . . .	30
2.11. Diagrama de estados del <i>Token</i> de Configuración de Sesión . . . .	32
2.12. Diagrama de estados del protocolo de Configuración de Sesión . .	33
2.13. Diagrama de estados del protocolo de Descubrimiento de Capaci- dades . . . . .	35
2.14. Diagrama de estados del protocolo Inter RAT . . . . .	37
2.15. Protocolos de la Subcapa de Convergencia . . . . .	38

2.16. Protocolos del Transporte de Señalización . . . . .	39
2.17. Encapsulación de mensajes sin fragmentación . . . . .	40
2.18. Encapsulación de mensajes con fragmentación . . . . .	40
2.19. Arquitectura de Referencia para un Enlace de Flujo de Bajada . .	42
2.20. Arquitectura de Referencia para un Enlace de Flujo de Subida . .	42
2.21. Protocolos del Transporte de Datos . . . . .	42
2.22. Relación entre el Transporte de Datos y los protocolos de capa superior . . . . .	43
2.23. Encapsulación del Protocolo de Enlace de Radio . . . . .	44
2.24. Diagrama de Estados del Protocolo de Control de Flujo en el AT	45
2.25. Diagrama de Estados del Protocolo de Control de Flujo en la AN	45
2.26. Encapsulación del Protocolo de Consolidación de Paquetes . . . . .	46
2.27. Flujo de mensajes del Protocolo de Intercambio de Claves . . . . .	49
2.28. Flujo de mensajes para el intercambio de clave . . . . .	49
2.29. Protocolos de la Subcapa de Seguridad . . . . .	50
2.30. Encapsulación de datos en la Subcapa de Convergencia para <i>Is-Secure=1</i> . . . . .	51
2.31. Encapsulación de datos en la Subcapa de Convergencia para <i>Is-Secure=0</i> . . . . .	52
2.32. Diagrama de Estados del Protocolo de Gestión de Enlace de Aire en el AT . . . . .	59
2.33. Diagrama de Estados del Protocolo de Gestión de Enlace de Aire en la AN . . . . .	60
2.34. Diagrama de Estados del Protocolo de Estado Conectado en el AT	64
2.35. Diagrama de Estados del Protocolo de Estado Conectado en la AN	64

2.36. Diagrama de Estados del Protocolo de Mensajes de <i>Overhead</i> . . .	66
2.37. Diagrama de Estados del Protocolo de Gestión de <i>Active Set</i> . . .	68
2.38. Diagrama de Estados del Protocolo de Estado de Inicialización . .	71
2.39. Encapsulación de Paquetes de la Subcapa MAC Inferior . . . . .	73
2.40. Diagrama de Estados del Protocolo MAC de Canal de Control . .	74
2.41. Diagrama de Estados del Protocolo MAC de Canal de Acceso . .	75
2.42. Secuencia de Pruebas de Acceso . . . . .	76
2.43. Diagrama de Estados del Protocolo MAC de Señalización Com- partida . . . . .	77
2.44. Diagrama de Estados del Protocolo MAC de Canal de Tráfico de Bajada . . . . .	78
2.45. Diagrama de Estados del Protocolo MAC de Canal de Control de Subida . . . . .	79
2.46. Diagrama de Estados del Protocolo MAC de Canal de Tráfico de Subida . . . . .	80
2.47. Estructura de los Canales del Enlace de Bajada . . . . .	84
2.48. Estructura de los Canales del Enlace de Subida . . . . .	85
2.49. Estructura de una Supertrama FDD . . . . .	90
2.50. Tiempos de Transmisión H-ARQ del Enlace de Bajada . . . . .	91
2.51. Tiempos de Transmisión H-ARQ del Enlace de Subida . . . . .	92
2.52. Tiempos de Retransmisión H-ARQ Extendida para el Enlace de Bajada . . . . .	93
2.53. Tiempos de Retransmisión H-ARQ Extendida para el Enlace de Subida . . . . .	93
2.54. Estructura de una Supertrama TDD con particionamiento 1:1 . .	97

2.55. Tiempos de Transmisión H-ARQ del Enlace de Bajada para TDD 1:1 . . . . .	98
2.56. Tiempos de Transmisión H-ARQ del Enlace de Subida para TDD 1:1 . . . . .	98
2.57. Estructura de Trama TDD con particionamiento M:N . . . . .	99
2.58. Estructura de Codificación y Modulación . . . . .	100
2.59. Codificador Convolutivo de Tamaño $K=9$ y Tasa $1/3$ . . . . .	104
2.60. Codificador Turbo . . . . .	105
2.61. Ejemplo de un Árbol de Canal . . . . .	114
2.62. Estructura del Preámbulo de Supertrama . . . . .	114
2.63. <i>Symbol Rate Hopping</i> en el Enlace de Bajada . . . . .	117
2.64. Patrones de Pilotos . . . . .	118
2.65. <i>Block Hopping</i> en el Enlace de Bajada . . . . .	118
2.66. Múltiples Árboles de Canal para el soporte de Enlaces cuasi- ortogonales . . . . .	121
2.67. Bloque de Tráfico Tiempo - Frecuencia . . . . .	122
2.68. Esquema de Reutilización Fraccional de Frecuencias . . . . .	124
2.69. Estructura de Árbol de Canal con Planificación de Sub-banda . . . . .	127
2.70. Estructura de Pilotos para el caso de cuatro antenas efectivas . . . . .	136
2.71. Ciclo de Desplazamientos MIMO . . . . .	138
2.72. Línea de Tiempo de los Periodos de Paginación . . . . .	151
2.73. <i>Handoff</i> en el Enlace de Bajada . . . . .	160
2.74. <i>Handoff</i> en el Enlace de Subida . . . . .	162
2.75. Modelo de Referencia de la Arquitectura de Red del Modo 625k- MC . . . . .	165

2.76. Estructura de una Red <i>Best-Wine</i> . . . . .	167
2.77. Arquitectura de Protocolos PHY/MAC/LLC del Modo 625k-MC	167
2.78. Estructura de la Trama TDD/TDMA utilizada en el modo <i>Best-Wine</i> . . . . .	169
2.79. Estructura de una Supertrama . . . . .	171
2.80. Agregación de Portadoras . . . . .	172
2.81. Diagrama de Bloques del Esquema de Codificación . . . . .	174
2.82. Estructura de una Ráfaga Estándar del Enlace de Bajada . . . . .	181
2.83. Estructura de una Ráfaga Estándar del Enlace de Subida . . . . .	182
3.1. Modelo de Referencia de la Arquitectura de Red de UMTS . . . . .	194
3.2. Arquitectura de Servicios Abierta de UMTS . . . . .	198
3.3. Arquitectura de Red de UMTS . . . . .	199
3.4. Diagrama de la Arquitectura de UMTS . . . . .	200
3.5. Estructura de la Red Central de UMTS . . . . .	205
3.6. Estructura de la Red de Acceso UTRAN . . . . .	207
3.7. Conexión de un UE a la red UMTS . . . . .	208
3.8. Arquitectura de Protocolos de UMTS . . . . .	210
3.9. Estructura de Protocolos Iu-CS . . . . .	218
3.10. Estructura de Protocolos Iu-PS . . . . .	218
3.11. Interfaz Iu . . . . .	219
3.12. Arquitectura de la Capa MAC en el UE . . . . .	230
3.13. Arquitectura de la Capa MAC en la Red UTRAN . . . . .	231
3.14. Modo TDD de UMTS . . . . .	238

3.15. Modo FDD de UMTS . . . . .	239
3.16. Tipos de Celdas UMTS . . . . .	240
3.17. Tasas de Transmisión con Movilidad en UMTS . . . . .	241
3.18. Estructura de Trama y Supertrama en UMTS . . . . .	242
3.19. Tramas DPDCH y DPCCH en el Enlace de Bajada . . . . .	243
3.20. Tramas DPDCH y DPCCH en el Enlace de Subida . . . . .	243
3.21. Tipos de Canales en WCDMA . . . . .	244
3.22. Mapeo de Canales en FDD . . . . .	250
3.23. Mapeo de Canales en TDD . . . . .	250
3.24. Receptor <i>Rake</i> . . . . .	254
3.25. Ensanchamiento y Aleatorización de la Señal . . . . .	256
3.26. Modulación de Espectro Extendido por Secuencia Directa . . . . .	258
3.27. Esquemas de Modulación utilizados en UTRAN . . . . .	259
3.28. Efecto <i>Near-Far</i> . . . . .	260
3.29. Reutilización de Frecuencias en WCDMA para UMTS . . . . .	263
3.30. Diversidad en Tiempo . . . . .	264
3.31. Procedimiento de Paginación en UMTS . . . . .	276
3.32. Ejecución del Procedimiento de <i>Handoff</i> . . . . .	278
3.33. <i>Hard Handoff</i> . . . . .	278
3.34. <i>Hard Handoff</i> “ <i>sin costura</i> ” . . . . .	279
3.35. <i>Soft Handoff</i> . . . . .	280
4.1. Modelo Referencial de Arquitectura de MBWA y UMTS para acceso con IP móvil . . . . .	289

4.2.	Comparación de Eficiencia Espectral en Sistemas Inalámbricos . .	304
4.3.	Requerimientos de Sistema de MBWA . . . . .	320
4.4.	Requerimientos de Tasas de Transmisión y Movilidad en Sistemas de Acceso por Radio . . . . .	325
4.5.	Tipos de Servicios de Telecomunicaciones implementados en UMTS	330
4.6.	Visión General de Aplicaciones y Servicios de UMTS . . . . .	336
4.7.	Visión General de Aplicaciones y Servicios de MBWA . . . . .	337
5.1.	Usuarios de Internet por Provincias en Porcentaje . . . . .	348
5.2.	Usuarios de Internet por Prestador de Servicio en Porcentaje . .	349

## Glosario

1

**16QAM** *16 Quadrature Amplitude Modulation*, modulación de amplitud en cuadratura de 16 estados, en la cual cada flujo de datos se divide en grupos de 4 bits y a su vez en grupos de 2 bits, codificando cada bit en 4 estados o niveles de amplitud y fase de las portadoras, p. 10.

3

**3G** Hace referencia a las tecnologías de Tercera Generación utilizadas para sistemas de comunicación móviles, p. 189.

6

**625k-MC** *625 kiloHertz-spaced Multi Carrier*, modo de operación de MBWA que utiliza múltiples portadores de 625 kHz, p. 9.

**64QAM** *64 Quadrature Amplitude Modulation*, modulación de amplitud en cuadratura de 64 estados, en la cual cada flujo de datos se divide en grupos de 4 bits y a su vez en grupos de 2 bits, codificando cada bit en 2 estados o niveles de amplitud y fase de las portadoras, p. 10.

8

**8PSK** *8 Phase-Shift Keying*, modulación de orden superior con una constelación de 8 símbolos desfasados entre sí, p. 10.

A

**AAL** *ATM Adaptation Layer* o Capa de Adaptación de ATM, p. 211.



- ACK** *Acknowledgement* o Acuse de recibo, hace referencia a un mensaje que se envía para confirmar que una comunicación se ha realizado exitosamente o que un mensaje ha sido recibido satisfactoriamente, p. 21.
- AES** *Advanced Encryption Standard* o Estándar de Encriptación Avanzada, esquema de cifrado por bloques que se ha convertido en uno de los algoritmos más populares de la criptografía simétrica, p. 54.
- ALCAP** *Access Link Control Application Part* o Parte de Aplicación de Control del Enlace de Acceso, p. 215.
- AMP** *Address Management Protocol* o Protocolo de Gestión de Dirección, p. 25.
- AN** *Access Network* o Red de Acceso, hace referencia al equipamiento de red que proporciona conectividad de capa 3 entre una red IP (comúnmente el internet) y los terminales de acceso (AT), p. 14.
- AP** *Access Point* o Punto de Acceso, es un nodo que permite interconectar dispositivos de comunicación inalámbrica para formar una red inalámbrica y acceder a ella, p. 15.
- ARQ** *Automatic Repeat reQuest* o Petición Automática de Reenvío, es un método de control de errores para transmisiones de datos, el mismo que asegura una transmisión confiable por medio del reenvío de paquetes en caso de que el transmisor no haya recibido la confirmación de recepción por parte del receptor, p. 12.
- AT** *Access Terminal* o Terminal de Acceso, dispositivo que provee conectividad de datos a un usuario, p. 5.
- ATIS** *Alliance for Telecommunications Industry Solutions*, p. 12.
- ATM** *Asynchronous Transfer Mode* o Modo de Transferencia Asíncrono, es una tecnología de telecomunicaciones utilizada para la transmisión de información a altas velocidades por medio de la utilización de paquetes cortos de longitud constante o celdas ATM que pueden ser enrutadas individualmente mediante el uso de canales virtuales, p. 211.
- AuC** *Authentication Center* o Centro de Autenticación, p. 200.
- B**
- backhaul** Parte de la red constituida por los enlaces entre el núcleo de la red y otras partes de la red o entre el núcleo y otras subredes pertenecientes a la red principal, p. 5.
- BCCH** *Broadcast Control Channel* o Canal de Control de Difusión, p. 227.

- BCH** *Broadcast Channel* o Canal de Difusión, p. 178.
- beamforming** Consiste en la formación de una señal de onda reforzada mediante el desfase de distintas antenas, dando lugar a un patrón bien definido y completamente direccional, p. 10.
- BER** *Bit Error Rate* o Tasa de Error de Bit, es la relación entre el número de bits recibidos con error y el número total de bits recibidos en un intervalo de tiempo determinado, p. 253.
- Best-Wine** *Broadband mobile Spatial Wireless Internet access*, nombre utilizado para referirse a los sistemas MBWA que funcionan con el modo de operación 625k-MC, p. 9.
- BG** *Border Gateway* o Pasarela de Borde, p. 200.
- bloques** Son información que es transmitida a un protocolo par utilizando una encapsulación que es específica para un canal de capa física, p. 18.
- BMC** *Broadcast/Multicast Control* o Control de *Broadcast/Multicast*, es una subcapa de la capa 2 de la interfaz de radio UMTS encargada del mapeo de canales lógicos, p. 209.
- broadcast** Transmisión de información donde un nodo emisor envía datos a múltiples nodos receptores de manera simultánea, p. 65.
- BS** *Base Station* o Estación Base, elemento fijo de la red de acceso que controla la comunicación de radio bidireccional entre el terminal de usuario y la red. La estación base coordina el manejo de los atributos de la interfaz de aire, p. 5.
- BSC** *Base Station Controller* o Controlador de Estaciones Base en GSM, p. 195.
- BSS** *Base Station Subsystem* o Subsistema de Estaciones Base, p. 200.
- buffer** Ubicación de memoria reservada para el almacenamiento temporal de información digital que se realiza cuando ésta se encuentra a la espera de ser procesada, p. 108.
- C**
- CBS** *Cell Broadcast Service* o Servicio de Difusión de Celda, p. 225.
- CCCH** *Common Control Channel* o Canal Común de Control, p. 228.
- CCH** *Configuration Channel* o Canal de Configuración, p. 178.
- CD/CA-ICH** *Collision Detection / Channel Assignment Indicator Channel* o Canal Indicador de Detección de Colisiones / Asignación de Canal, p. 249.

- CDMA** *Code Division Multiple Access* o Acceso Múltiple por División de Código, método de acceso al canal en el cual todas las transmisiones se realizan simultáneamente y utilizando todo el espectro disponible, pero con un código único para cada transmisión, p. 9.
- chip** Es el pulso de un código de Espectro Ensanchado de Secuencia Directa, como por ejemplo una secuencia de código de pseudo ruido, p. 88.
- CPCH** *Common Packet Channel* o Canal Común de Paquetes, p. 231.
- CPICH** *Common Pilot Channel* o Canal Piloto Común, p. 248.
- CQI** *Channel Quality Indicator* o Indicador de Calidad de Canal, hace referencia a una medida para la determinación del estado de la calidad del canal desde el AT a la AN, p. 22.
- CRC** Código de Redundancia Cíclica, hace referencia a un código de detección de errores ocasionados por el ruido en canales de transmisión, p. 22.
- Cryptosync** Información de sincronización provista externamente para algoritmos de cifrado que permite a un encriptador en un extremo encriptar de manera única cada bloque de contenido en texto cifrado, permitiendo sin embargo, al descifrador en el otro extremo descifrar apropiadamente el texto para obtener la información original. El *Cryptosync* toma generalmente la forma de la salida de un contador binario, p. 49.
- CTCH** *Common Traffic Channel* o Canal Común de Tráfico, p. 228.
- D**
- DCCH** *Dedicated Control Channel* o Canal Dedicado de Control, p. 228.
- DCH** *Dedicated Channel* o Canal Dedicado, p. 247.
- Diffserv** Arquitectura para la implementación de un mecanismo simple y escalable que permita la diferenciación, clasificación y manejo del tráfico de red con el propósito de proporcionar Calidad de Servicio, p. 148.
- DLC** *Data Link Control* o Control de Enlace de Datos, es un protocolo de comunicaciones de propósito general que opera a nivel de enlace de datos para ofrecer una comunicación confiable entre el transmisor y el receptor, p. 169.
- downlink** Enlace de bajada, es decir el enlace de radio que se establece desde la radio base, punto de acceso o nodo de acceso hacia el terminal de acceso. Se conoce también como *Forward Link*, p. 7.
- DPCCH** *Dedicated Physical Control Channel* o Canal Físico Dedicado de Control, p. 242.

- DPCH** *Dedicated Physical Channel* o Canal Físico Dedicado, p. 249.
- DPDCH** *Dedicated Physical Data Channel* o Canal Físico Dedicado de Datos, p. 242.
- DS-CDMA** *Direct Sequence CDMA* o CDMA de Secuencia Directa, hace referencia a al método de acceso CDMA que utiliza la técnica de modulación de espectro ensanchado por secuencia directa para hacer que la señal transmitida tenga un ancho de banda mayor que el de la señal de datos que se modula, p. 239.
- DSCH** *Downlink Shared Channel* o Canal Compartido del Enlace de Bajada, p. 231.
- DTCH** *Dedicated Traffic Channel* o Canal Dedicado de Tráfico, p. 228.
- duplexación** División de un único canal en dos canales diferentes, p. 6.

## E

- EAP** *Extensible Authentication Protocol* o Protocolo de Autenticación Extensible, es un protocolo de autenticación utilizado principalmente en redes inalámbricas y en conexiones punto a punto, p. 310.
- EIR** *Equipment Identity Register* o Registro de Identidad de Equipos, p. 200.
- endpoints** Nombre de una entidad en un extremo de la conexión de una capa de transporte que permite separar el tráfico de protocolo de una capa específica, p. 183.

## F

- F-ACQCH** *Forward Acquisition Channel* o Canal de Adquisición de Bajada, p. 83.
- F-AuxPICH** *Forward Auxiliary Pilot Channel* o Canal Piloto Auxiliar de Bajada, p. 83.
- F-CPICH** *Forward Common Pilot Channel* o Canal Piloto Común de Bajada, p. 83.
- F-DCH** *Forward Data Channel* o Canal de Datos de Bajada, canal de datos utilizado para la transmisión de información desde la AN hacia el AT, p. 72.
- F-DPICH** *Forward Dedicated Pilot Channel* o Canal Piloto Dedicado de Bajada, p. 83.
- F-OSICH** *Forward Other Sector Interference Channel* o Canal de Interferencia de Otro Sector de Bajada, p. 84.
- F-pBCH0** *Forward Primary Broadcast Channel 0* o Canal Primario de Difusión de Bajada 0, p. 84.
- F-pBCH1** *Forward Primary Broadcast Channel 1* o Canal Primario de Difusión de Bajada 1, p. 84.

- F-SSCH** *Forward Shared Signaling Channel* o Canal de Señalización Compartida de Bajada, p. 76.
- FACCH** *Fast Associated Control Channel* o Canal de Control Asociado Rápido, p. 178.
- FACH** *Forward Access Channel* o Canal de Acceso de Bajada, p. 231.
- FDD** *Frequency Division Duplexing* o Duplexación por División de Frecuencia, hace referencia al uso de dos bandas diferentes de frecuencia para transmisión y recepción dentro de un canal, p. 9.
- FEC** *Forward Error Correction* o Corrección de errores hacia adelante, es un mecanismo de corrección de errores que permite su corrección en el receptor sin necesidad de retransmisiones de la información original, p. 251.
- FER** *Frame Error Rate* o Tasa de Error de Trama, tasa de tramas recibidas con error con respecto al total de tramas recibidas, p. 12.
- FFR** *Fractional Frequency Reuse* o Reutilización Fraccional de Frecuencias, esquema de reutilización de frecuencias en el cual algunas de las subportadoras tienen un factor de reutilización menor a 1 debido a que no son usadas en todos los sectores, p. 11.
- FFT** *Fast Fourier Transform* o Transformada Rápida de Fourier, es un algoritmo utilizado para calcular la Transformada Discreta de Fourier y aplicado en una gran variedad de aplicaciones entre las que se encuentran el tratamiento digital de señales y el filtrado digital, p. 88.
- G**
- GMSC** *Gateway Mobile Switching Center* o Pasarela del Centro de Conmutación Móvil, p. 200.
- GPRS** *General Packet Radio Service* o Servicio General de Paquetes por Radio, es una tecnología para la transmisión de datos basada en conmutación de paquetes utilizada en los sistemas GSM y considerada como de 2.5G, p. 192.
- GSM** Del francés *Groupe Spécial Mobile*, el Sistema Global para las Comunicaciones Móviles es un estándar de telefonía móvil de segunda generación, p. 189.
- H**
- H-ARQ** *Hybrid Automatic Repeat reQuest* o Petición Automática de Reenvío Híbrida, es una combinación de codificación de canal por medio de códigos FEC y de detección de errores utilizando un método ARQ para el control de los mismos, p. 89.

- handoff** Procedimiento utilizado para transferir el servicio de una estación base a otra, cuando el terminal móvil cambia de una celda a otra, p. 6.
- HC-SDMA** *High Capacity Spatial Division Multiple Access* Acceso Múltiple por División de Espacio de Alta Capacidad, p. 12.
- HLR** *Home Location Register* o Registro de Localización Local, p. 200.
- hopping** Patrón de salto de frecuencia en el que la señal se emite cada vez por una frecuencia diferente elegida de manera pseudo aleatoria, p. 10.
- hotspots** Zona de cobertura en la cual uno o varios puntos de acceso proveen servicios de red, p. 9.
- HSDPA** *High Speed Downlink Packet Access*, tecnología de 3.5G que representa una evolución de la tercera generación y una optimización de su antecesora UMTS/WCDMA sobre todo en el incremento de las velocidades en el enlace de bajada, p. 1.
- HSPA** *High Speed Packet Access* o Acceso a Paquetes de Alta Velocidad, es la combinación de tecnologías posteriores y complementarias a la tercera generación de telefonía móvil (3G), como son el 3.5G o HSDPA y 3.5G Plus, 3.75G o HSUPA, p. 303.
- HSPA+** *High Speed Packet Access Plus* o Acceso a Paquetes de Alta Velocidad *Plus*, es un estándar de internet móvil definido en la versión 7 de 3GPP y posteriores que representa una evolución de HSPA y que es considerada como una tecnología de cuarta generación, p. 303.
- HSUPA** *High Speed Upload Packet Access*, tecnología de 3.75G que representa una evolución de la tercera generación y una optimización de su antecesora UMTS/WCDMA sobre todo en el incremento de las velocidades en el enlace de subida, p. 285.

## I

- iBurst** Tecnología inalámbrica de banda ancha desarrollada por la empresa *ArrayComm* y basada en HC-SDMA, p. 4.
- ICM** Industriales, Científicas, Médicas; hace referencia a las bandas de frecuencias libres o no licenciadas que se encuentran designadas para aplicaciones industriales, científicas y médicas, y que generalmente se utilizan para aplicaciones no comerciales y experimentales, p. 359.
- IEEE** Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos, p. 2.
- IMSI** *International Mobile Subscriber Identity* o Identidad Internacional de Suscriptor Móvil, es un código de identificación único para dispositivos de telefonía móvil integrado en la tarjeta SIM y que permite su identificación en redes GSM y/o UMTS, p. 202.

**interleaver** Entidad de la red destinada a realizar un proceso de *interleaving* en la codificación de canal, p. 104.

**Interleaving** Proceso que se encarga de entrelazar los paquetes de datos o los bits de cada paquete al momento de enviarlos, con el objetivo de dispersar las ráfagas de error y reducir la concentración de errores que se deben corregir por el código de canal, p. 100.

**InUse** Hace referencia a una instancia de protocolos o pila de protocolos que en el momento están siendo utilizados para realizar una comunicación entre el terminal de acceso y la red de acceso, p. 15.

**IP** *Internet Protocol* o Protocolo de internet, protocolo no orientada a la conexión utilizado para la transmisión de datos de una red de paquetes conmutados, p. 2.

**IPv4** *Internet Protocol* versión 4, p. 7.

**IPv6** *Internet Protocol* versión 6, p. 7.

**ISDN** *Integrated Services Digital Network* o Red Digital de Servicios Integrados, p. 195.

**IWF** *InterWorking Function* o Función de Interfuncionamiento, es una entidad funcional asociada con el MSC, que proporciona la funcionalidad necesaria para permitir el interfuncionamiento entre una red móvil pública y las redes fijas (ISDN, PSTN). Las funciones de la IWF dependen de los servicios y el tipo de red fija. La IWF se encarga de convertir los protocolos usados en la PLMN a los usados en la red fija utilizada., p. 214.

## K

**keep-alive** Mecanismo empleado para el mantenimiento de una sesión establecida entre un AT y una AN, p. 25.

## L

**LAN** *Local Area Network* o Red de Área Local, p. 6.

**latencia** Lapso de tiempo necesario para que un paquete de datos se transfiera de un punto a otro y que está conformado por la suma de retardos temporales de la red, p. 6.

**LLC** *Logical Link Control* o Control de Enlace Lógico, hace referencia a la subcapa superior de la capa de enlace de datos que tiene como función principal definir la forma en que los datos son transferidos sobre el medio físico, p. 167.

## M

- M3UA** *MTP-3B User Adaptation* o Adaptación de Usuario de MTP-3B, p. 215.
- MAC** *Media Access Control* o Control de Acceso al Medio, p. 5.
- MAN** *Metropolitan Area Network* o Red de área metropolitana, red con cobertura de área metropolitana, p. 5.
- MAP** *Mobile Application Part* o Parte de Aplicación Móvil, p. 220.
- MBFDD** *Mobile Broadband Frequency Division Duplexing* o Duplexación por División de Frecuencia para Banda Ancha Móvil, hace referencia al uso de dos bandas diferentes de frecuencia para transmisión y recepción dentro de un canal, p. 6.
- MBTDD** *Mobile Broadband Time Division Duplexing* o Duplexación por División de Tiempo para Banda Ancha Móvil, hace referencia al uso de una sola banda de frecuencia para transmisión y recepción, pero de manera alternada en diferentes intervalos de tiempo, p. 6.
- MBWA** Acceso inalámbrico de banda ancha móvil, p. 2.
- MCW** *Multiple CodeWord*, hace referencia a un modo MIMO en el cual se transmiten simultáneamente múltiples flujos de datos codificados, p. 137.
- mejor esfuerzo** Describe un servicio de red en el cual no está garantizada la entrega de los datos, la prioridad ni la calidad de servicio, p. 39.
- MIMO** *Multiple Input Multiple Output*, mecanismo de transmisión de múltiples antenas en el cual el transmisor es capaz de enviar señales independientes por medio de varias antenas hacia el receptor equipado también con varias antenas, p. 9.
- Mobile-Fi** Tecnología implementada con el estándar IEEE 802.20, p. 2.
- MSC** *Mobile Switching Center* o Centro de Conmutación Móvil, p. 196.
- máscara** Combinación de bits que sirven para delimitar el ámbito de red y el ámbito de *host* en una dirección perteneciente a una red cualquiera, p. 28.
- MTP-3B** *Messaging Transfer Part* o Parte de Transferencia de Mensajes, p. 214.

## N

- NAS** *Network Access Server* o Servidor de Acceso a la Red, es un punto de entrada que permite a los usuarios o clientes acceder a la red, usualmente se utiliza como puerta de entrada para proteger el acceso a un recurso restringido, p. 290.
- NBAP** *Node B Application Part* o Parte de Aplicación del Nodo B, p. 217.



**NLOS** *Non Line of Sight* o Sin Línea de Visión, indica que no existe una línea de vista directa entre un transmisor y un receptor en un enlace de radio, p. 13.

**NULL** Expresión que se utiliza para hacer referencia a un valor nulo o no asignado, p. 28.

## O

**OFDM** *Orthogonal Frequency Division Multiplexing* o Multiplexación por División de Frecuencias Ortogonales, es una técnica de multiplexación multiportadora que consiste en combinar múltiples portadoras de poca capacidad para formar un compuesto de alta capacidad; la característica fundamental es que las subportadoras son ortogonales en frecuencia, p. 88.

**OFDMA** *Orthogonal Frequency Division Multiple Access* o Acceso Múltiple por División de Frecuencias Ortogonales, método de acceso al canal basado en OFDM, p. 9.

**OSA** *Open Service Architecture* o Arquitectura de Servicios Abierta de UMTS, p. 193.

**OSI** *Other Sector Interference* o Interferencia de Otro Sector, p. 74.

**OSICH** *Other Sector Interference Channel* o Canal de Interferencia de Otro Sector, p. 73.

**overheads** Bits añadidos a la carga útil de información y que transportan datos necesarios para el ensamble y desensamblaje de tramas, organización de segmentos, etc., p. 10.

## P

**P-CCPCH** *Primary Common Control Physical Channel* o Canal Físico Primario de Control Común, p. 248.

**PAC** *Packet Authentication Code* o Código de Autenticación de Paquete, campo de la cabecera del protocolo de Autenticación que define el código utilizado para autenticar un paquete en la Subcapa de Seguridad, p. 56.

**Pages** *Pages* o Páginas, bloques de información de tamaño definido que constituyen la unidad de almacenamiento de datos en el proceso de Paginación y que además constituyen los mensajes enviados en este procedimiento, p. 61.

**paquetes** Unidad de información que se maneja en la capa de red, p. 10.

**pBCH0** *Primary Broadcast Channel 0* o Canal Primario de Difusión 0, p. 73.

**pBCH1** *Primary Broadcast Channel 1* o Canal Primario de Difusión 1, p. 73.

- PCCH** *Paging Control Channel* o Canal de Control de Paginación, p. 227.
- PCH** *Paging Channel* o Canal de Paginación, p. 178.
- PCP** *Packet Consolidation Protocol* o Protocolo de Consolidación de Paquetes, hace referencia al protocolo encargado de añadir las cabeceras de Consolidación de Paquetes a los paquetes de transporte para la transmisión y de remover dichas cabeceras para encaminar los paquetes al transporte correcto en la recepción, p. 21.
- PCPCH** *Physical Common Packet Channel* o Canal Físico Común de Paquetes, p. 248.
- PDA** *Personal Digital Assistant* o Asistente Digital Personal, computador de mano diseñado para diferentes aplicaciones, p. 1.
- PDCP** *Packet Data Convergence Protocol* o Protocolo de Convergencia de Paquetes de Datos, se refiere a una de las capas de la interfaz de radio de UMTS que se encarga de llevar a cabo la compresión y descompresión de cabeceras IP y de la transferencia de datos de usuario, p. 209.
- PDSCH** *Physical Downlink Shared Channel* o Canal Físico Compartido del Enlace de Bajada, p. 248.
- PDSN** *Packet Data Serving Node* o Nodo de Servicio de Paquetes de Datos, es el responsable de la gestión de las sesiones PPP entre la red central IP y la estación móvil en una red UMTS, p. 290.
- PDU** *Protocol Data Unit* o Unidad de Datos de Protocolo, hace referencia a la unidad de información que se utiliza para el intercambio de datos entre unidades parejas dentro de una misma capa, p. 43.
- PHY** *Physical Layer* o Capa Física, es la parte del protocolo de comunicación entre el terminal de acceso y la red de acceso, la cual es responsable de la transmisión y recepción de datos. La capa física en la estación de transmisión y la transforma en una forma de onda que se envía a través del aire, y en la estación de recepción transforma nuevamente la onda en una trama de datos, p. 5.
- PICH** *Paging Indicator Channel* o Canal Indicador de Paginación, p. 249.
- PMK** *Pairwise Master Key* o Clave Maestra por Parejas, es una clave criptográfica utilizada para derivar u obtener claves de bajo nivel. Tecnologías como *WiMAX* o UMTS también utilizan claves PMK, p. 48.
- PNBSCH** *Physical Node B Synchronization Channel* o Canal Físico de Sincronización de Nodo B, p. 249.
- PPP** *Point to Point Protocol* o Protocolo Punto a Punto, es un protocolo estandarizado en el documento RFC 1661 que permite establecer comunicaciones a nivel de enlace entre dos dispositivos, p. 166.

- PRACH** *Physical Random Access Channel* o Canal Físico de Acceso Randómico, p. 248.
- pre-codificación** Método de formación del haz con múltiples antenas para concentrar un haz espacial en una determinada dirección, p. 10.
- PSTN** *Public Switched Telephone Network* o Red Telefónica Pública Conmutada, p. 195.
- puncturing** Proceso de remover algunos de los bits de paridad después de la codificación con el objetivo de simular una codificación de tasa mayor a la que en realidad se realiza, p. 102.

## Q

- QoS** *Quality of Service* o Calidad de Servicio, p. 46.
- QPSK** *Quadrature Phase-Shift Keying*, modulación de orden superior con una constelación de 4 símbolos con un desplazamiento de fase de 90 grados entre sí, p. 10.

## R

- R-ACH** *Reverse Access Channel* o Canal de Acceso de Subida, p. 85.
- R-ACKCH** *Reverse Acknowledgment Channel* o Canal de Acuse de Recibo de Subida, p. 78.
- R-BFCH** *Reverse Beam Feedback Channel* o Canal de Retroalimentación de Ráfaga de Subida, p. 78.
- R-CQICH** *Reverse Channel Quality Indicator Channel* o Canal Indicador de Calidad del Canal de Subida, p. 78.
- R-DCH** *Reverse Data Channel* o Canal de Datos de Subida, canal de datos utilizado para la transmisión de información desde el AT hacia la AN, p. 72.
- R-PICH** *Reverse Pilot Channel* o Canal Piloto de Subida, p. 78.
- R-REQCH** *Reverse Request Channel* o Canal de Petición de Subida, p. 78.
- R-SFCH** *Reverse Subband Feedback Channel* o Canal de Retroalimentación de Sub-banda de Subida, p. 78.
- RAB** *Radio Access Bearer* o Portadora de Acceso de Radio, es la entidad responsable de transportar tramas de radio de una aplicación sobre la red de acceso en UMTS, p. 212.

- RACH** *Random Access Channel* o Canal de Acceso Randómico, p. 178.
- RANAP** *Radio Access Network Application Part* o Parte de Aplicación de la Red de Acceso de Radio, p. 216.
- RF** Radio Frecuencia, p. 7.
- RLC** *Radio Link Control* o Control del Enlace de Radio, hace referencia a un protocolo de capa de enlace que se encarga de la corrección de errores y del control de flujo en sistemas UMTS, p. 209.
- RLP** *Radio Link Protocol* o Protocolo de Enlace de Radio, protocolo portador que permite realizar una retransmisión de datos *Nak-Based*, es decir que realiza la retransmisión cuando ha recibido un ACK negativo por la presencia de algún problema en la transmisión, p. 21.
- RNC** *Radio Network Controller* o Controlador de la Red de Radio en UMTS, p. 195.
- RNS** *Radio Network Subsystem* o Subsistema de la Red de Radio en UMTS, p. 195.
- RNSAP** *Radio Network Subsystem Application Part* o Parte de Aplicación del Subsistema de la Red de Radio, p. 216.
- roaming** Capacidad de un dispositivo para moverse de una zona de cobertura a otra, p. 6.
- RRC** *Radio Resource Control* o Control de Recursos de Radio, se refiere a una subcapa de la capa de red de UMTS que se encarga de la señalización en el plano de control de la Capa 3 entre el equipo de usuario y la red de acceso UTRAN, p. 209.
- RSVP** *Resource ReSerVation Protocol* o Protocolo de Reserva de Recursos, es un protocolo *unicast* y *multicast* de señalización para la configuración de reserva de recursos diseñado para la implementación de niveles específicos de calidad de servicio para los flujos de datos de las diferentes aplicaciones, p. 148.
- RTT** *Round-Trip Delay Time*, tiempo que tarda un paquete enviado desde un emisor en volver al mismo emisor habiendo pasado por el receptor de destino.
- Ruta** Instancia *In-Use* de una pila de protocolos, p. 15.
- S**
- S-CCPCH** *Secondary Common Control Physical Channel* o Canal Físico Secundario de Control Común, p. 248.
- SAP** *Service Access Point* o Punto de Acceso de Servicio, p. 210.

- SCCP** *Signalling Connection Control Part* o Parte de Control de la Conexión de Señalización, p. 215.
- SCH** *Synchronization Channel* o Canal de Sincronización, p. 248.
- Scrambling** Procedimiento que realiza una transposición de señales con el objetivo de eliminar largas secuencias de bits con el mismo valor. De la misma manera, este proceso, permite realizar la codificación de un mensaje en el transmisor, con el objetivo de hacer ese mensaje inentendible en un receptor que no esté adecuado apropiadamente para realizar el proceso inverso, p. 100.
- SCTP** *Stream Control Transmission Protocol* o Protocolo de Transmisión de Control de Flujo, p. 213.
- SCW** *Single CodeWord*, hace referencia a un modo MIMO en el cual se transmite una sola palabra codificada a la vez, p. 137.
- SDMA** *Spatial Division Multiple Access* o Acceso Múltiple por División de Espacio, método de acceso al canal que segmenta el espacio en sectores utilizando antenas unidireccionales, p. 10.
- SDU** *Service Data Unit* o Unidad de Datos de Servicio, es una unidad de datos que ha sido pasada desde una capa superior hacia una capa inferior y que todavía no ha sido encapsulada dentro de un PDU perteneciente a esa capa inferior, p. 228.
- Sector** Conjunto de canales de capa física transmitidos entre la red de acceso y las terminales de acceso dentro de un asignación de frecuencias dada, p. 14.
- SGSN** *Serving GPRS Support Node* o Nodo de Soporte de Servicio GPRS, p. 196.
- SHCCH** *Shared Control Channel* o Canal Compartido de Control, hace referencia a un canal bidireccional que solamente se encuentra en el modo TDD de UMTS y que está encargado de transportar información de control de canales compartidos, p. 228.
- SIM** *Suscriber Identity Module* o Módulo de Identidad de Suscriptor, hace referencia a una tarjeta inteligente desmontable usada en teléfonos móviles y módems. Las tarjetas SIM almacenan de forma segura la clave de servicio del suscriptor usada para identificarse ante la red, de forma que sea posible cambiar la línea de un terminal a otro simplemente cambiando la tarjeta, p. 274.
- SIMO** *Single Input Multiple Output*, mecanismo de transmisión en el cual se utilizan varias antenas para la transmisión y una sola antena para la recepción, p. 135.
- SINR** *Signal to Interference and Noise Power Ratio* o Relación Señal a Interferencia y Ruido, p. 10.
- SISO** *Single Input Single Output*, mecanismo de transmisión en el cual se utiliza una sola antena tanto para la transmisión como para la recepción, p. 109.

- SLP** *Signaling Link Protocol* o Protocolo de Señalización de Enlace, p. 21.
- SNP** *Signaling Network Protocol* o Protocolo de Señalización de Red, p. 18.
- softer handoff** Hace referencia al procedimiento utilizado cuando el terminal de acceso se encuentra conectado simultáneamente a dos celdas, o a dos sectores diferentes dentro de la misma celda, p. 122.
- SSCF** *Service Specific Coordination Function* o Función Específica de Coordinación de Servicio, p. 213.
- SSCOP** *Service Specific Connection Oriented Protocol* o Protocolo de Servicio Específico Orientado a la Conexión, p. 212.
- STTD** *Space Time Block Coding Base Transmit Antenna Diversity* o Diversidad de Antena de Transmisión basada en Espaciamiento de Tiempo y Codificación de Bloque, p. 266.
- subredes** Rango de direcciones lógicas que permite establecer una red dentro de otra red de mayor tamaño, p. 28.
- T**
- TCH** *Traffic Channel* o Canal de Tráfico, p. 178.
- TCP** *Transmission Control Protocol* o Protocolo de Control de Transmisión, hace referencia a uno de los protocolos fundamentales de internet que se implementa a nivel de la Capa de Transporte con el objetivo de garantizar la entrega de datos de manera ordenada y sin errores, p. 177.
- TDD** *Time Division Duplexing* o Duplexación por División de Tiempo, hace referencia al uso de una sola banda de frecuencia para transmisión y recepción, pero de manera alternada en diferentes intervalos de tiempo, p. 9.
- TDM** *Time Division Multiplexing* o Multiplexación por División de Tiempo, tipo de multiplexación utilizado en transmisiones digitales, en el cual el ancho de banda total del medio de transmisión es asignado a cada canal durante un periodo de tiempo, p. 115.
- TDMA** *Time Division Multiple Access* o Acceso Múltiple por División de Tiempo, hace referencia a una técnica de multiplexación que distribuye las unidades de información en ranuras alternas de tiempo proporcionando de este modo acceso a múltiples usuarios sobre un reducido número de frecuencias, p. 237.
- throughputs** Volumen de datos que se transfieren entre dos nodos a través de la red en un período de tiempo determinado, p. 12.
- trama** Unidad de información que se maneja en la capa de enlace de red, p. 10.

**transportes** Elementos de la Subcapa de Convergencia que permiten la transferencia de información y de mensajes de señalización utilizando el protocolo SNP, p. 20.

**TSTD** *Time Switched Transmit Diversity* o Diversidad de Transmisión por Tiempo Conmutado, p. 266.

## U

**ubicuidad** Conectividad en cualquier lugar, p. 2.

**UMTS** *Universal Mobile Telecommunication System* o Sistema Universal de Telecomunicaciones Móviles, p. 189.

**Unicast** Envío de información desde un único emisor a un único receptor, p. 23.

**uplink** Enlace de subida, es decir el enlace de radio que se establece desde el terminal de acceso hacia la radio base, punto de acceso o nodo de acceso. Se conoce también como *Reverse Link*, p. 7.

**USCH** *Uplink Shared Channel* o Canal Compartido del Enlace de Subida, p. 231.

**UT** *User Terminal* o Terminal de Usuario, dispositivo que provee conectividad de datos al usuario de un dispositivo final de usuario, p. 5.

**UTRAN** *UMTS Terrestrial Radio Access Network* o Red de Acceso de Radio Terrestre de UMTS, p. 194.

## V

**VHE** *Virtual Home Environment* o Entorno Local Virtual, hace referencia a un proceso que le permite a un usuario disponer de un entorno de servicio personalizado en cualquier red y con cualquier terminal que se encuentre utilizando, p. 193.

**VLAN** *Virtual Local Area Network* o Red Virtual de Área Local, es una red de área local que agrupa un conjunto de equipos de manera lógica y no física, es decir es un método para crear redes virtuales lógicamente independientes dentro de una misma red física, p. 334.

**VLR** *Visitor Location Register* o Registro de Localización de Visitantes, p. 200.

**VoIP** Voz sobre IP, aplicación para la transmisión de voz utilizando el protocolo de internet IP, p. 1.

**VPN** *Virtual Private Network* o Red Privada Virtual, hace referencia a una tecnología de red que permite una extensión de la red local sobre una red público o no controlada, como por ejemplo internet, p. 166.

## W

**WAN** *Wide Area Network* o Red de Área Extensa, p. 10.

**WAP** *Wireless Application Protocol* o Protocolo de Aplicaciones Inalámbricas, es un estándar abierto para la especificación de un entorno de aplicación y de un conjunto de protocolos que normalizan el modo en los dispositivos inalámbricos acceden a servicios de internet, p. 197.

**Wideband** Modo de operación de MBWA que hace uso de todo el ancho de banda, p. 9.

**WLAN** *Wireless Local Area Network* o Red Inalámbrica de Área Local, p. 162.

## X

**XOR** *eXclusive OR* u *OR* Exclusiva, hace referencia a una operación o función lógica en la cual el resultado es igual a 1 solamente cuando sus dos entradas son distintas, p. 109.



# Capítulo 1

## INTRODUCCIÓN

### 1.1. Introducción General

En los últimos años se ha producido un significativo incremento en la demanda de servicios de datos para todo tipo de terminales móviles, entre los que se puede incluir computadores portátiles, dispositivos PDA y *smartphones*, por citar algunos; y esta gran demanda de nuevos servicios es la principal fuente de crecimiento del sector de las telecomunicaciones a nivel mundial, y es la que ha propiciado en gran medida el desarrollo del mercado de banda ancha móvil. Durante los últimos años se han producido importantes avances en las tecnologías de acceso inalámbrico, avances que hicieron posible la aparición de las tecnologías de tercera generación (3G) utilizadas para la provisión de servicios de transmisión de voz y datos a altas velocidades [1]. En definitiva las redes de tercera generación han permitido que servicios que antes eran exclusivos en sistemas de banda ancha fija, ahora puedan ser prestados por medio de redes inalámbricas y contando con las mismas prestaciones y la misma calidad de servicio.

Indudablemente que en este vertiginoso crecimiento las redes 3G han experimentado una notable evolución que se ha visto reflejada en velocidades de transmisión cada vez mayores y en características de calidad de servicio más eficientes; y es así como de tecnologías móviles de tercera generación como UMTS se ha pasado a tecnologías de 3.5G, como HSDPA, que actualmente ya se encuentra implementada en el país aunque no a gran escala. El desarrollo de redes de nueva generación y de tecnologías de acceso inalámbricas de banda ancha móvil se ha visto respaldado e impulsado por la creciente cantidad de usuarios que actualmente hacen uso de servicios de banda ancha como son la transmisión de datos a altas velocidades, transmisión de voz sobre IP (VoIP), video *streaming*, videoconferencia de alta calidad, etc.; y es este incremento en la demanda de este tipo de servicios el que

ha hecho necesario que se desarrollen e implementen nuevas tecnologías que permitan satisfacer adecuadamente las necesidades del mercado y de los usuarios[2].

Ante este panorama de constante evolución en tecnologías de acceso inalámbrico que permitan alcanzar altas tasas de transmisión con un alto grado de disponibilidad y buscando garantizar una verdadera movilidad sin degradación en la calidad del servicio, el Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE) crea el grupo de trabajo “*Mobile Broadband Wireless Access (MBWA) Working Group*”, cuyo objetivo es el desarrollo de la especificación de una eficiente interfaz de aire para redes inalámbricas de banda ancha basada en paquetes y optimizada para el transporte de servicios basados en IP. La meta del nuevo estándar creado por este grupo de trabajo, llamado IEEE 802.20 *Mobile Broadband Wireless Access (MBWA)*, es posibilitar el despliegue a nivel mundial de redes inalámbricas de banda ancha móvil que sean asequibles, que permitan ubicuidad, que permitan interoperabilidad entre diferentes fabricantes y con características de conexión permanente “*always on*”[3].

A pesar de que el grupo de trabajo se conformó en el año 2002, el estándar IEEE 802.20 fue aprobado definitivamente seis años después en el mes de junio de 2008, razón por la cual puede considerarse como una tecnología completamente nueva y que no ha sido aún implementada a gran escala, aunque existen ya varios sistemas MBWA funcionando en aproximadamente 13 países a nivel mundial[4]. Las prestaciones que ofrece la tecnología *Mobile-Fi*, tal como se ha nombrado al estándar 802.20, son de muy alto nivel, por lo que puede considerarse a MBWA como el futuro de las comunicaciones inalámbricas de banda ancha móvil en reemplazo o complemento de otras tecnologías similares como WiMAX, WiMAX *Mobile* y UMTS.

Tomando en cuenta todas estas consideraciones, el desarrollo y futura implementación de la tecnología *Mobile Fi* para el acceso inalámbrico de banda ancha móvil, son de vital importancia para impulsar el sector de las telecomunicaciones en el país; ya que la gran demanda de servicios de datos para terminales móviles es probablemente la principal fuente de crecimiento del sector en la actualidad. Es necesario propiciar el desarrollo de las telecomunicaciones en el Ecuador, y ante el inminente crecimiento de *Mobile Fi*, es muy importante empezar a promover el conocimiento de esta tecnología y de sus principales características; y en este sentido resulta de vital importancia la realización de un estudio que investigue detalladamente esta tecnología y muestre de una manera completa pero concisa sus características, funcionalidades, ventajas, desventajas, aplicaciones, etc. La utilidad de este tipo de estudios es que además de propiciar el adecuado conocimiento de

las características de la tecnología, puede convertirse una herramienta que a futuro pueda utilizarse al momento de realizar las consideraciones para su posible implementación en el país.

El objetivo principal del presente trabajo es analizar el Estándar IEEE 802.20 para Sistemas de Acceso Inalámbrico de Banda Ancha Móvil y realizar una comparación del mismo con las tecnologías de acceso inalámbrico móvil de tercera generación implementadas en el Ecuador, representadas por UMTS al ser la de mayor difusión en el país.

Los objetivos específicos que permitirán el cumplimiento del objetivo general son los que se indican a continuación:

- Describir y analizar la arquitectura, protocolos y principales características de la tecnología MBWA definida en el Estándar IEEE 802.20.
- Describir las principales características y el funcionamiento de UMTS, como principal representante de las tecnologías de tercera generación implementadas en el país.
- Realizar un estudio comparativo de la tecnología *Mobile Fi* con respecto a la tecnología de tercera generación UMTS en términos de funcionamiento, arquitectura, eficiencia y aplicaciones.
- Analizar la posibilidad de una futura implementación de esta tecnología en el Ecuador en función de sus ventajas, desventajas y principalmente de su aplicabilidad.

## 1.2. El Estándar IEEE 802.20

### 1.2.1. Definición

El IEEE 802.20 es un estándar creado por el grupo de trabajo “*Mobile Broadband Wireless Access (MBWA) Work Group*” que ha sido desarrollado para proveer un sistema capaz de proporcionar acceso inalámbrico de banda ancha para usuarios móviles. El estándar IEEE 802.20 fue creado con la intención de posibilitar la implementación a nivel mundial de redes inalámbricas de banda ancha móvil mediante la utilización de equipos de diferentes fabricantes que puedan ser interoperables entre sí. Conocido usualmente como tecnología *Mobile Fi*, el estándar IEEE 802.20 define una interfaz que puede implementarse

con un costo relativamente bajo y que permite mantener una conexión de banda ancha permanente “*always on*” con verdadera movilidad utilizando tecnología inalámbrica.

El grupo de trabajo 802.20 fue propuesto y formado en respuesta a la creación de la tecnología *iBurst* creada por *ArraysComm*, una empresa que posteriormente sería adquirida por la gigante multinacional *Kyocera*, con el objetivo de estandarizar la tecnología presentada en esta nueva propuesta. El grupo de trabajo *Mobile Broadband Wireless Access* fue aprobado por el organismo *IEEE Standards Board* en diciembre de 2002 con el objetivo de crear una especificación formal para una interfaz de aire basada en paquetes y diseñada para soportar servicios basados en IP. Al igual que *Kyocera*, otro de los más importantes miembros del grupo de trabajo era la empresa *Qualcomm*, la misma que obedeciendo a sus intereses particulares trató de obstaculizar el trabajo del grupo; razón por la cual en junio de 2006 la mesa de Estándares de IEEE decidió suspender temporalmente las actividades del grupo de trabajo 802.20, permaneciendo dichas actividades suspendidas por varios meses hasta octubre del mismo año.

Posteriormente se introdujeron varios cambios al interior del grupo de trabajo y su organización, los mismos que hicieron posible la continuación de las actividades de manera normal y transparente; hasta que en el 12 de junio de 2008 finalmente se aprobó el estándar y fue liberada su primera publicación[4].

### 1.2.2. Propósito

La misión o propósito del estándar IEEE 802.20 es desarrollar la especificación para una eficiente interfaz de aire basada en paquetes, la cual está optimizada para el transporte de servicios basados en IP. Lo que se busca conseguir con este estándar es posibilitar la implementación a nivel mundial de redes inalámbricas de banda ancha móvil que sean asequibles, que permitan ubicuidad, que permitan interoperabilidad entre diferentes fabricantes, que manejen un uso eficiente del espectro radioeléctrico, y con características de conexión permanente “*always on*”; además que tengan la capacidad de reconocer y satisfacer las necesidades de los usuarios tanto comerciales como residenciales[3].

Las necesidades de los usuarios que se busca satisfacer por medio de *Mobile Fi* son entre otras: Acceso a internet con movilidad y ubicuidad, soporte transparente de aplicaciones de internet, acceso a servicios de intranet corporativos, acceso transparente a servicios de ubicación, etc. Esta especificación busca llenar la brecha en el desempeño existente entre los servicios con altas tasas de velocidad pero con poca movilidad actualmente definidos

en otras especificaciones 802 y los servicios con alta movilidad prestados por medio de redes celulares[5].

### 1.2.3. Alcance

El alcance del estándar creado por el grupo de trabajo 802.20 está orientado a definir la especificación de las capas física (PHY) y de Control de Acceso al Medio (MAC) de la interfaz de aire para sistemas de acceso de banda ancha móvil interoperables, que operen en bandas de frecuencia licenciadas por debajo de los 3.5 GHz, optimizada para el transporte de datos IP y con picos en las tasas de transmisión que excede 1 Mbps para cada usuario. Esta especificación tiene la capacidad de soportar varias clases de movilidad vehicular de hasta 250 Km/h en un ambiente MAN y apuntando a conseguir una gran eficiencia espectral, altas tasas de datos constantes para los usuarios y la capacidad de manejar un número de usuarios activos significativamente mayor al que se puede manejar con los sistemas de acceso móviles existentes[3].

## 1.3. Principales Características y Especificaciones de MBWA

Todos los requerimientos técnicos que se mostrarán en el Capítulo 2 forman el estándar compatible para sistemas de acceso inalámbricos de banda ancha móvil.

Estos requerimientos aseguran que un terminal de acceso compatible (*AT*) o un terminal de usuario (*UT*) puedan obtener servicio a través de cualquier red de acceso o estación base (*BS*) según el modo seleccionado de los dos disponibles en el estándar, en consonancia con los requerimientos del equipo y el operador, proporcionando así un marco rápido para el desarrollo de sistemas de acceso inalámbricos de banda ancha móvil que sean rentables e interoperables entre distintos fabricantes. El estándar 802.20 está orientado a ser usado en una gran variedad de bandas de frecuencia licenciadas y en una gran variedad de ambientes regulatorios. En el estándar no se definen detalles concernientes a la implementación de una red de acceso en particular, sin embargo está diseñado para permitir tanto una estructura de *backhaul* jerárquicamente establecida como una estructura de *backhaul* más dinámica y no jerarquizada.

El estándar prevé situaciones de adición de futuros servicios y expansión en las capacidades del sistema, por lo que la arquitectura que define permite la expansión sin riesgos de pérdida de compatibilidad con el sistema ya implementado y con las antiguas

terminales móviles[6]. Varias de las características de la tecnología *Mobile Fi* quedan ya especificadas en el propósito y alcance del estándar, sin embargo a continuación se citarán otras varias características muy importantes del estándar 802.20 y que definen muchos de los beneficios que ofrece la tecnología. Dichas características se clasificarán en tres categorías básicas y son las que se especifican a continuación:

### **Características Básicas**

- Movilidad soportada hasta los 250 Km/h
- Opera en bandas de frecuencia licenciadas por debajo de los 3.5 GHz
- Baja latencia
- Permite co-implementación con sistemas celulares existentes y la posibilidad de reutilización de infraestructura de 3G existente
- Soporte de interoperabilidad con otras tecnologías por medio de *roaming* y *handoff*, por ejemplo entre MBWA y redes LAN inalámbricas, debido a la utilización de interfaces abiertas
- Soporte transparente de aplicaciones en tiempo real y no real
- Conectividad ininterrumpida “*always on*”
- Interfaz de aire basada en paquetes
- Optimizado para el transporte de datos IP con velocidades de transmisión superiores a 1 Mbps por usuario

### **Características de la Capa Física (PHY)**

- Soporta dos tipos de arreglo de frecuencias para el manejo del espectro: MBFDD con duplexación por división de frecuencia y MBTDD con duplexación por división de tiempo
- Re uso universal de frecuencias con un factor de reutilización menor o igual a 1
- Sectorización de 6 sectores/celda

- Utilización de antenas adaptativas inteligentes para obtener máxima eficiencia espectral
- Administración de las tasas de transmisión de usuario: Soporte de selección automática de tasas optimizadas para la transmisión de datos por parte de los usuarios que es coherente con las limitaciones del ambiente RF utilizado
- Provisión por parte de la interfaz de aire para intercambio mutuo de mensajes de autenticación
- Interfaces abiertas entre cualquier entidad de la red en la interfaz de aire que puede ser implementada por proveedores de servicio y fabricantes como entidades separadas de la red

### **Características de la Capa de Control de Acceso al Medio (MAC)**

- Handoff “suave” tanto inter-celda como inter-sector
- Asignación rápida de recursos para los enlaces de subida (*uplink*) y de bajada (*downlink*)
- Capacidad de manejar más de 100 usuarios activos por sector/celda
- Soporte de calidad de servicio de extremo a extremo
- Soporte de calidad de servicio disponible tanto para IPv4 como para IPv6[5]

En la Tabla 1.1[7] se resumen de manera general las principales características y especificaciones de MBWA.

**Tabla 1.1: Características Técnicas de MBWA**

<b>Característica</b>	<b>Valor para un ancho de banda de 1.5 Mhz</b>	<b>Valor para un ancho de banda de 5 MHz</b>
Movilidad	Movilidad de tipo vehicular para velocidades hasta 250 Km/h	
Eficiencia Espectral	Mayor a 1 b/s/Hz/celda	
Velocidad de transmisión pico por usuario para el enlace de bajada	Mayor a 1 Mbps	Mayor a 4 Mbps
Velocidad de transmisión pico por usuario para el enlace de subida	Mayor a 300 Kbps	Mayor a 1.2 Mbps
Velocidad de transmisión pico agregada por celda para el enlace de bajada	Mayor a 4 Mbps	Mayor a 16 Mbps
Velocidad de transmisión pico agregada por celda para el enlace de subida	Mayor a 800 Kbps	Mayor a 3.2 Mbps
RTT de la trama MAC en la interfaz de aire	Menor a 10 ms	
Tamaño de las celdas	Apropiado para proveer ubicuidad en redes MAN y reutilización de infraestructura eficiente	
Máxima frecuencia de operación	Menor a 3.5 GHz	
Arreglo de frecuencias para manejar el espectro	Soporta FDD y TDD	
Espectro utilizado	Espectro de bandas de frecuencias licenciadas utilizadas para el servicio móvil	
Seguridad	AES (Estándar de encriptación avanzada)	



La primera columna correspondiente al canal con un ancho de banda de 1.25 MHz hace referencia a un par de canales de 1.25 MHz en el modo FDD (2x1.25 MHz) y un solo canal de 2.5 MHz en el modo TDD. Para diferentes anchos de banda las velocidades especificadas en la Tabla 1.1 pueden variar.

#### 1.4. Modos de Funcionamiento de la Tecnología

El Estándar IEEE 802.20 define dos modos de operación, el modo *Wideband* y el modo 625k-MC también conocido como *Best-Wire*, los cuales tienen sus propias especificaciones tanto para la capa MAC como para la capa física PHY, las mismas que son distintas la una de la otra y optimizadas para el funcionamiento de cada uno de los modos de operación. El modo *Wideband* está diseñado para operar para todos los anchos de banda utilizando duplexación por división de frecuencia (FDD) y duplexación por división de tiempo (TDD). El modo 625k-MC está diseñado para trabajar con anchos de banda de portadora de 625 kHz con soporte de múltiples portadoras para el modo de operación TDD solamente. El principal modo de operación es el modo *Wideband*, razón por la cual el estudio se centrará principalmente en la descripción del mismo[6].

#### 1.5. Introducción al Modo de Operación *Wideband*

El modo de operación *Wideband* para sistemas de acceso inalámbrico de banda ancha móvil (MBWA) está diseñado para proporcionar un alto desempeño en una amplia variedad de implementaciones de tipo macrocelulares, microcelulares y *hotspots*; y con mecanismos que aseguran diferentes niveles de calidad de servicio. La capa física utiliza una combinación de dos métodos diferentes para controlar el acceso al medio o canal: OFDMA (Acceso Múltiple por División de Frecuencias Ortogonales) para los canales de datos y CDMA (Acceso Múltiple por División de Código) para algunos de los canales de control.

En el modo de operación *Wideband*, el sistema puede ser desplegado en anchos de banda flexibles comprendidos entre 5 y 20 MHz, y utiliza técnicas de transmisión MIMO que le permiten alcanzar velocidades de datos superiores a los 260 Mbps en canales con un ancho de banda de 20 MHz. Los sistemas *Wideband* tiene la capacidad de soportar tanto duplexación por división de tiempo como duplexación por división de frecuencia para su funcionamiento. El modo MBTDD proporciona además una asignación flexible de recursos entre los enlaces de subida y de bajada.

Tanto el modo de operación MBFDD como MBTDD utilizan estructuras de trama para la transmisión a nivel de la capa física. La utilización de estructura de tramas proporciona una transmisión de paquetes con una latencia inferior a los 5.5 ms, lo cual hace posible que los sistemas MBWA *Wideband* soporten aplicaciones que presenten una alta sensibilidad a los retardos. Además de la baja latencia que se obtiene en las transmisiones, el sistema emplea canales de control que han sido diseñados para soportar varios modos de transmisión que proporcionen *overheads* reducidos.

Una de las características principales de los sistemas de acceso inalámbrico de banda ancha móvil *Wideband* es la alta eficiencia espectral que manejan, la misma que es posible debido a la utilización de codificaciones turbo y modulaciones de orden superior; y además a la incorporación de un mecanismo de salto de frecuencia o *frequency hopping* que es utilizado junto con OFDMA para incrementar la diversidad en el sistema; siendo soportados dos modos distintos de salto de frecuencia[8].

La codificación turbo que se utiliza típicamente tiene una tasa de 1/5 y se utiliza para codificar paquetes en los cuales el número de bits de información es mayor a 128; y adicionalmente a los códigos turbo también se utilizan códigos convolucionales con una tasa de 1/3 cuando se necesita codificar paquetes pequeños con una cantidad de bits de información menor a 128. En cuanto a la modulación de orden superior, comúnmente se utilizan modulaciones QPSK, 8PSK, 16QAM y 64QAM.

Para mejorar aún más la eficiencia espectral y el área de cobertura, el modo *Wideband* describe varias técnicas de transmisión avanzadas que incluyen transmisiones con múltiples entradas y múltiples salidas (MIMO), pre-codificación, *beamforming* aplicable solamente para el modo TDD, y utilización de acceso múltiple por división de espacio (SDMA). MIMO permite manejar altas tasas de transmisión para los usuarios, el *beamforming* incrementa también la tasa de datos de usuario concentrando la potencia de transmisión en la dirección en que se encuentran el mismo, posibilitando de esta manera obtener un mayor SINR de recepción en la terminal de acceso; y SDMA incrementa la capacidad de sectorización al permitir transmisiones simultáneas a múltiples usuarios que pueden estar espacialmente separados. El *beamforming* junto con MIMO y SDMA proporciona tasas de usuario más elevadas tanto en las regiones con un bajo SINR como en las regiones con SINR elevado[9].

El control de potencia es esencial en redes WAN de banda ancha, tanto para realizar el control de interferencias como para mejorar la capacidad de la red; es por esta razón que

el modo de operación *Wideband* incorpora eficientes esquemas para realizar el control de potencia en el sistema.

En términos de movilidad esta tecnología ofrece grandes prestaciones, y para asegurar la gran movilidad que se busca con este tipo de implementaciones, se incorpora un robusto mecanismo de *handoff* que hace posible una conectividad ininterrumpida a medida que los terminales se mueven de una celda a otra.

Con el objetivo de crear sistemas muy eficientes tanto en los mecanismos de transmisión como en la utilización del espectro, *Wideband* incorpora características como la utilización de enlaces cuasi-ortogonales y la reutilización fraccional de frecuencias. Los enlaces cuasi-ortogonales se incorporan debido a que el sistema utiliza OFDMA en el enlace de subida de los canales de datos, y por tanto la capacidad del mismo no se escala linealmente con el número de antenas de recepción en el punto de acceso; para superar este inconveniente, se hace uso de un enlace de subida cuasi-ortogonal. Los sistemas MBWA *Wideband* están diseñados para operar con una reutilización universal de frecuencia, sin embargo, también pueden emplear una reutilización fraccionaria de frecuencias (FFR), la cual es una técnica de gestión de interferencias que proporciona una mejor experiencia de uso para los usuarios en los límites de las celdas.

Dado que se espera la coexistencia de sistemas MBWA con otras tecnologías inalámbricas y el soporte de terminales que sean capaces también de utilizar dichas tecnologías, la interfaz de aire considera técnicas para el *handoff* desde y hacia otros sistemas, el mismo que garantiza la total coexistencia y compatibilidad de los sistemas MBWA *Wideband* con otras tecnologías de acceso similares[8].

## 1.6. Introducción al Modo de Operación 625k-MC

El modo de operación MBTDD 625k-MC para los sistemas de acceso inalámbrico de banda ancha móvil definido en el estándar IEEE 802.20 lleva este nombre debido a la utilización de múltiples portadoras espaciadas entre sí 625 kHz, de ahí la abreviación 625k-MC que proviene de sus iniciales en inglés *625 kiloHertz-spaced Multi Carrier*; y la preposición MBTDD hace referencia a que este modo de operación define sistemas de banda ancha que operan utilizando una duplexación por división de tiempo solamente, a diferencia del modo *Wideband* que puede incorporar tanto duplexación por división de tiempo como por división de frecuencia.

Este modo de operación conocido también como *Best-Wine*, apelativo que se deriva del nombre *Broadband mobilE SpaTial Wireless Internet accEss*, por la utilización de las letras escritas con mayúsculas; toma como base la interfaz de aire especificada en el estándar ATIS-PP-0700004-2005 de la organización ATIS, el mismo que define las características de las capas física y MAC para la tecnología HC-SDMA; es decir que en realidad el modo 625k-MC de la tecnología MBWA es una mejora de la especificación HC-SDMA que permite de la implementación de sistemas que operan en bandas licenciadas por debajo de 3.5 GHz y que cumplan con todas las características descritas en el alcance del estándar 802.20[10].

El modo 625k-MC está diseñado para operar con arreglos adaptativos de múltiples antenas y utilizando una tecnología de acceso múltiple por división de espacio para acceder al canal. Este modo de operación permite realizar la transferencia efectiva de tráfico IP, incluyendo datos IP de banda ancha, sobre un modelo de referencia definido en capas como se verá posteriormente en el Capítulo 2. Las capas física y MAC han sido optimizadas para obtener máximos beneficios de las tecnologías de procesamiento espacial utilizadas, es decir los arreglos adaptativos de antenas y SDMA, los mismos que permiten mejorar la eficiencia espectral y la capacidad del sistema; así como también ampliar la cobertura aún cuando el espectro disponible es de tan solo 625 kHz. Adicionalmente a la eficiencia espectral que consiguen, las capas física y MAC tienen también la capacidad de soportar mayores tasas de transmisión y *throughputs* más elevados por medio de la habilitación de múltiples portadoras de 625 kHz.

El recurso físico básico en los sistemas 625k-MC es un canal espacial, el cual consiste en una portadora, un par de ranuras de tiempo para los enlaces de subida y bajada, y un índice de canal espacial. El uso de múltiples antenas y arreglos adaptativos de antenas hacen posible el soporte simultáneo de múltiples canales espaciales en un mismo canal convencional.

En cuanto al proceso de transmisión, el modo de operación 625k-MC utiliza una modulación adaptativa y una codificación de canal, que junto con el control de potencia en los enlaces de subida y de bajada, están incorporados para proveer transmisiones confiables a través de un amplia rango de condiciones que puedan presentarse en el enlace. Algunas combinaciones de modulación y codificación, son empleadas para maximizar el *throughput*, el mismo que está sujeto a la tasa de error de las tramas (FER) y a las condiciones del enlace. Los procesos de modulación, codificación y control de potencia son complementados con un mecanismo rápido de ARQ para proporcionar un enlace tan confiable como sea

posible en una configuración con una movilidad tan elevada.

En el modo *Best-Wine* la capa física emplea el procesamiento espacial y los formatos de modulación y codificación múltiple con el objetivo de manejar adecuadamente los retos que presenta la comunicación en un ambiente NLOS y con movilidad. Al igual que en el modo *Wideband*, en el modo 625k-MC se incorpora un mecanismo de *handoff* bastante eficiente, tanto para las transiciones entre celdas como para las transiciones entre las diversas tecnologías compatibles con MBWA.

La calidad de servicio y la seguridad son dos consideraciones muy importantes dentro de este modo de operación. Es por esta razón que se utilizan mecanismos flexibles de calidad de servicio para ofrecer diferentes niveles de servicios diferenciados y mecanismos de seguridad para el enlace de radio que se llevan a cabo por medio de procedimientos de autenticación mutua entre los terminales y la red de acceso, así como también por medio de una fuerte encriptación para asegurar la privacidad de la información[9].

## Capítulo 2

# ESTÁNDAR IEEE 802.20 PARA SISTEMAS DE ACCESO INALÁMBRICO DE BANDA ANCHA MÓVIL

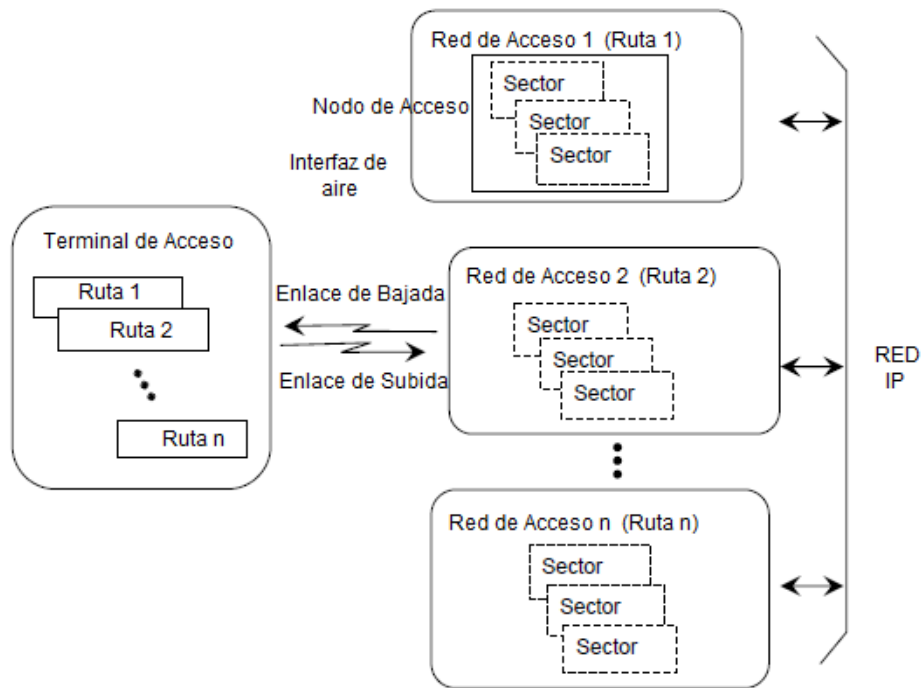
### 2.1. Modo de Operación *Wideband*

#### 2.1.1. Arquitectura de Red y Protocolos

##### 2.1.1.1. Modelo de Referencia de la Arquitectura de Red

La Arquitectura de Red de un sistema MBWA *Wideband* consta principalmente de tres unidades funcionales que se describen a continuación:

- Red de Acceso o *Access Network* (AN): Equipamiento de red que proporciona conectividad de capa 3 entre una red IP (comúnmente el internet) y los terminales de acceso (AT). De manera general, la Red de Acceso, es el conjunto de nodos de Acceso.
- Terminal de Acceso o *Access Terminal* (AT): Dispositivo que proporciona conectividad de datos al usuario. Un AT puede ser conectado a un dispositivo como una *laptop* o computador portátil o puede ser un dispositivo capaz de realizar la conectividad por sí mismo como un PDA.
- Sector: Conjunto de canales de capa física transmitidos entre la red de acceso y los terminales de acceso dentro de un asignación de frecuencias dada. Un sector está formado por canales tanto en la banda de subida como de bajada[11].



**Figura 2.1: Modelo de Referencia de la Arquitectura del Modo *Wideband***

Como puede observarse en la Figura 2.1, el modo de operación *Wideband* configura “múltiples rutas” entre el Terminal de Acceso y la Red de Acceso, la misma que está conformada por un dispositivo físico al que se denomina Nodo de Acceso y que es el encargado de implementar los protocolos de las capas PHY y MAC para uno o más sectores en la red.

El Terminal de Acceso tiene la capacidad de comunicarse con una o más Redes de Acceso a través de la interfaz de aire que también se encuentra definida en el modelo referencial de la arquitectura, y adicionalmente el AT mantiene una instancia *InUse* de la pila de protocolos, denominada Ruta, la cual está asociada con cada AN con la cual está manteniendo una comunicación[6].

Un sistema MBWA está diseñado para manejar comunicaciones de alta velocidad para usuarios móviles proporcionando una mínima o inexistente degradación de servicio en la experiencia de usuario a medida que los usuarios se mueven entre diferentes puntos de acceso de la red. En un sistema *Wideband*, el AT recibe servicio de uno o más Puntos de Acceso (AP) en un tiempo determinado, y de la misma manera, cada Punto de Acceso puede usar uno o más sectores para mejorar la utilización de los recursos del enlace de aire.

El AT mantiene una lista de los sectores que encuentra con la mejor visibilidad, lista que se denomina *Active Set*. El *Active Set* es almacenado tanto por el Terminal como por

la Red de Acceso, y está formada por los sectores entre los cuales el AT puede escoger para conmutar en cualquier momento. La Red de Acceso está diseñada para minimizar el tiempo de conmutación entre sectores pertenecientes a un mismo *Active Set*. Un AT puede ser atendido por un sector para cada enlace de subida o de bajada, y el proceso de *handoff* se lleva a cabo independiente en el *downlink* y en el *uplink*.

Un Punto de Acceso que aloja un sector de servicio o *servicing sector* se denomina Punto de Acceso de Servicio o *Serving Access Point*. En cualquier momento solamente un Punto de Acceso provee conectividad al internet para un Terminal de Acceso determinado, el AP que proporciona esta conectividad de internet es llamado Punto de Acceso de Anclaje o *Anchor Access Point*.

El Punto de Acceso de Servicio cambia continuamente en el tiempo dependiendo de las condiciones del enlace de radio, y a este cambio de AP se lo conoce como *handoff* de capa 2. De manera similar, el Punto de Acceso de Anclaje puede también cambiar para minimizar el número de saltos que un paquete tiene que atravesar antes de alcanzar el AT de destino; a este cambio de AP se lo define como *handoff* de capa 3. El *handoff* de capa 3 está diseñado para operar de manera completamente independiente del *handoff* de capa 2, esto con el objetivo de posibilitar una rápida conmutación para el Punto de Acceso de Servicio[8].

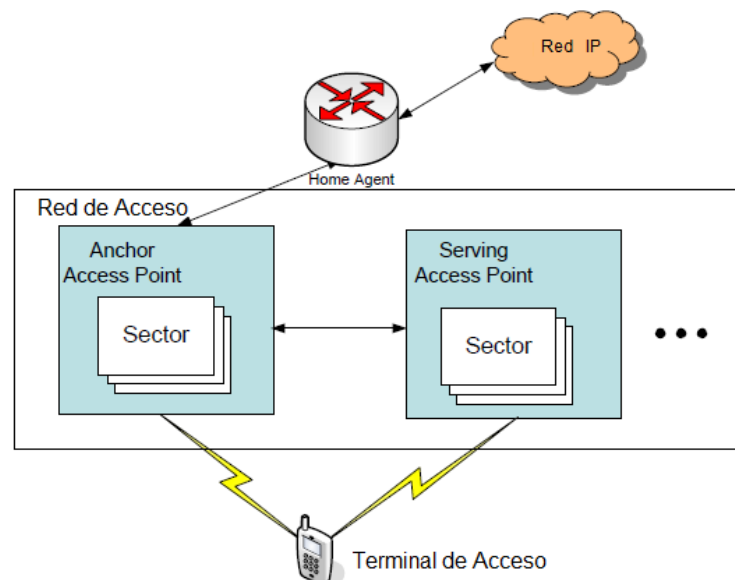


Figura 2.2: Arquitectura de Red para MBWA *Wideband*



La Figura 2.2 muestra un esquema que ilustra los conceptos del modelo de Arquitectura de Red descrito en los párrafos anteriores y que es complementario al modelo mostrado en la Figura 2.1.

### Direccionamiento del Terminal de Acceso

Es importante indicar la forma en que se realiza el direccionamiento de los AT dentro del funcionamiento del modo de operación *Wideband*. Existen principalmente dos tipos de direcciones utilizadas para hacer referencia a un terminal de acceso en un sistema MBWA:

- **UATI:** *Universal Access Terminal Identifier*. Es una identificación temporal de 128 bits que el sistema le asigna al terminal de acceso. El UATI es usado principalmente para acceder al sistema y no proviene de ningún identificador de *hardware* relacionado con el equipo utilizado; por lo tanto no puede ser utilizado para obtener una identificación del terminal de acceso que está accedando. Existe también una versión acortada de 32 bits denominada ATI que está conformada por los 32 bits menos significativos del UATI y se utiliza para la paginación del AT.
- **MAC ID:** Al AT se le asigna un MAC ID por cada sector existente en su *Active Set*. El MAC ID es un identificador de 11 bits utilizado por un sector para el intercambio de paquetes de *unicast* que realiza con el AT. Un identificador MAC es único solamente dentro del sector que asignó dicho MAC ID a un terminal de acceso determinado.

Adicionalmente en un sistema MBWA se utilizan las siguientes direcciones:

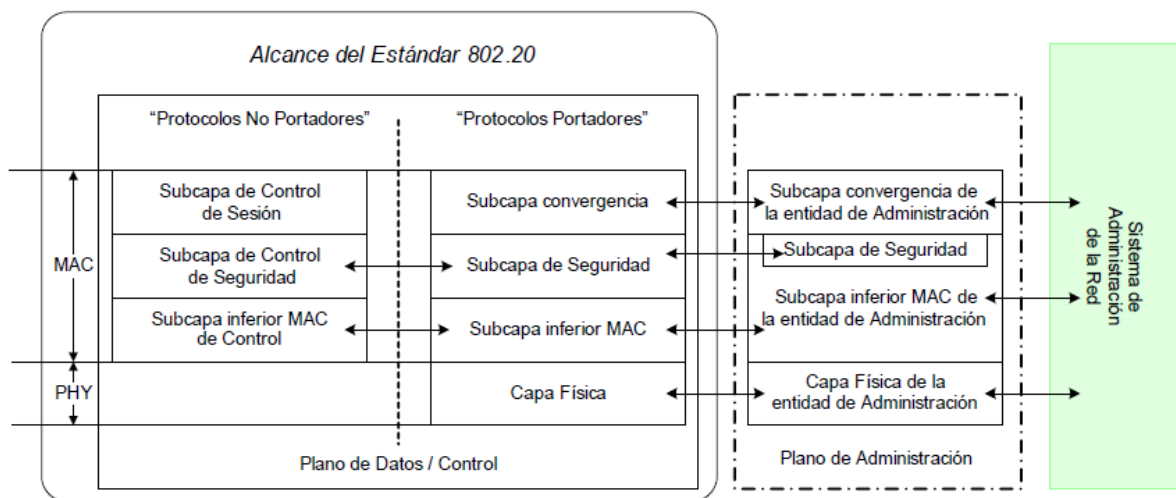
- **Dirección IP:** La dirección IP es asignada por la red al AT. Un sistema MBWA no requiere una dirección IP asignada al terminal de acceso para operar. Una dirección IP puede ser asignada a un AT para propósitos de gestión y administración.
- **IEEE EUI 48 o EUI 64:** Son identificadores asignados por el fabricante a cada dispositivo utilizado como terminal de acceso.

Cabe recalcar que el sistema no asume ni se basa en la existencia de las dos direcciones citadas anteriormente para operar[8].

### 2.1.1.2. Arquitectura de Protocolos

Los sistemas MBWA se especifican utilizando una arquitectura de red por capas de manera similar a la arquitectura utilizada en el resto de estándares de la familia 802 de IEEE. La interfaz de aire dividida en capas, con interfaces definidas para cada capa y para cada protocolo dentro de cada capa, hace que la arquitectura permita futuras modificaciones a una capa o a un protocolo de manera individual y aislada, es decir sin afectar al resto de la arquitectura de red.

En la Figura 2.3 se muestra la arquitectura de protocolos en capas de un sistema MBWA.



**Figura 2.3:** Arquitectura de Capas y Protocolos de la interfaz de aire MBWA

Como puede observarse, el estándar IEEE 802.20 especifica la utilización de protocolos Portadores y No Portadores. Los protocolos Portadores son aquellos que se encargan de transportar información o carga útil de datos de una capa a otra o de un dispositivo a otro dentro de la red, mientras que los protocolos No Portadores no llevan consigo una carga útil de datos.

Cada una de las capas está formada por uno o más protocolos que permiten llevar a cabo la funcionalidad de dicha capa. Los protocolos utilizan mensajes de señalización, que son enviados en bloques o cabeceras, para transmitir información a sus protocolos pares al otro lado del enlace de radio; y para el envío de dichos mensajes, utilizan el Protocolo de Señalización de Red (SNP)[11].

Como se ha mencionado anteriormente, cada una de las capas en la arquitectura está formada por subcapas y dentro de estas se utilizan varios protocolos que cumplen funciones específicas a fin de que cada subcapa cumpla con su objetivo. En la Figura 2.4 se muestra un esquema detallado de las subcapas y de todos los protocolos existentes dentro de cada una de ellas.

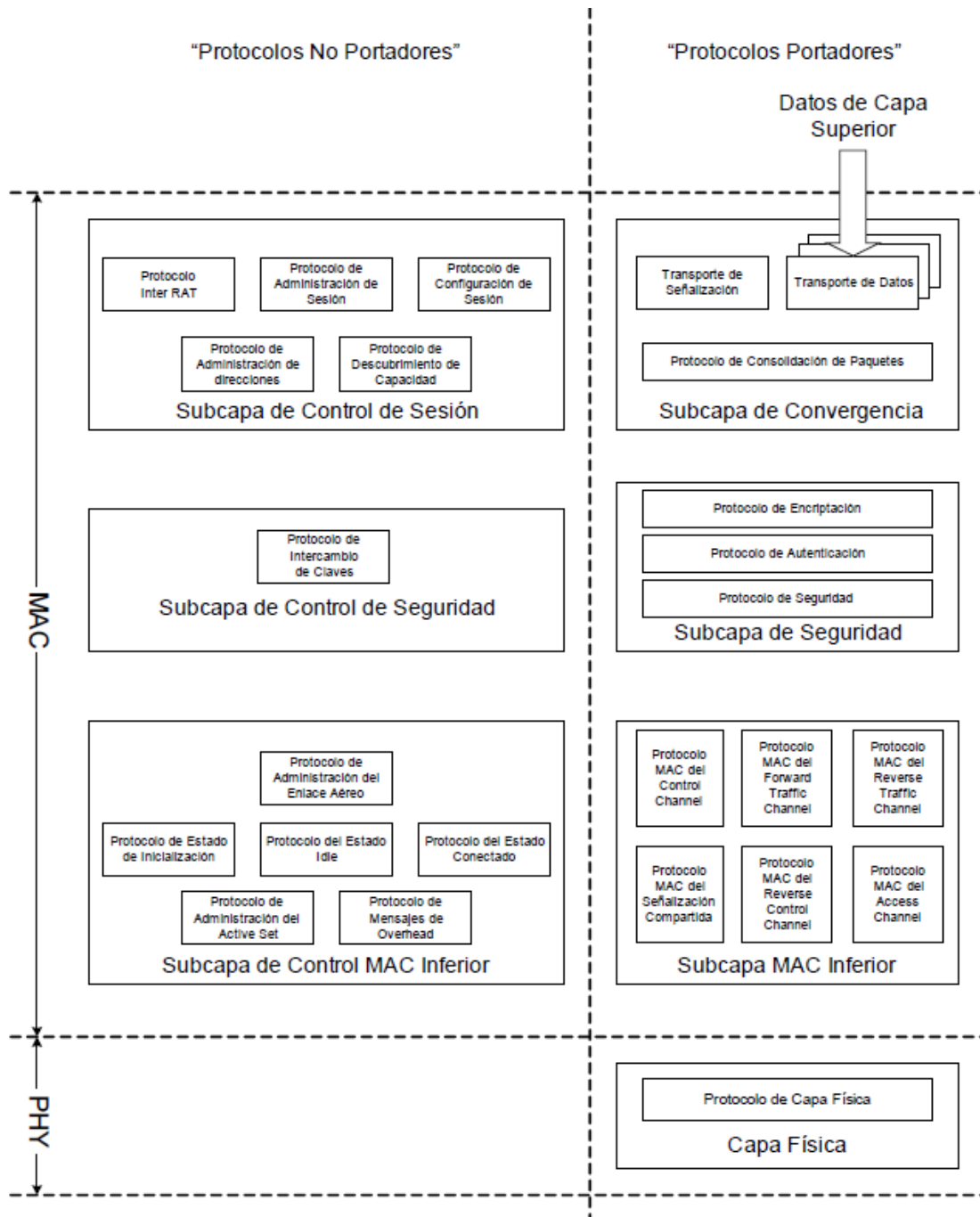


Figura 2.4: Protocolos en cada subcapa

Las principales características, funciones y protocolos de cada subcapa se detallarán más adelante en el presente capítulo, sin embargo, a continuación se hace una breve descripción de cada una de las subcapas mostradas en la Figura 2.4.

**Subcapa de Control de Sesión:** La Subcapa de Control de Sesión proporciona gestión de direccionamiento por medio del UATI, negociación de protocolos, configuración de protocolos y servicios de mantenimiento de estado. La Subcapa de Control de Sesión es una capa no portadora, por lo tanto, no transporta carga útil de datos en nombre de otras capas.

**Subcapa de Convergencia:** La Subcapa de Convergencia proporciona protocolos y transportes usados para transportar mensajes y datos, y adicionalmente hace posible la multiplexación de distintos transportes. Por ejemplo, esta subcapa lleva a cabo el transporte de señalización por defecto para transportar los mensajes de protocolos de la interfaz de aire, y el transporte de paquetes por defecto para transportar los datos de usuario. Se la considera extensible o ampliable, en el sentido de que nuevos transportes pueden ser definidos para llevar otros tipos de paquetes.

**Subcapa de Control de Seguridad:** La Subcapa de Control de Seguridad ejecuta el intercambio de llaves o contraseñas y es la encargada de manejar y administrar la Subcapa de Seguridad.

**Subcapa de Seguridad:** La Subcapa de Seguridad provee servicios de autenticación y encriptación para las comunicaciones.

**Subcapa de Control MAC Inferior:** La Subcapa de Control de la Subcapa MAC Inferior proporciona los servicios de establecimiento y mantenimiento de la conexión del enlace de aire.

**Subcapa MAC Inferior:** La Subcapa MAC Inferior define los procedimientos utilizados para realizar la transmisión y recepción sobre la Capa Física.

**Capa Física:** La Capa Física define la estructura de los canales físicos y proporciona las especificaciones de frecuencia, potencia de salida, modulación y codificación para los canales de *uplink* y *downlink*[11].

### 2.1.1.3. Entramado de Paquetes

Tanto el transporte de datos como el transporte de señalización proporcionan facilidades para la fragmentación de su carga útil. La Figura 2.5 muestra el proceso de entramado de paquetes en los sistemas MBWA *Wideband*.

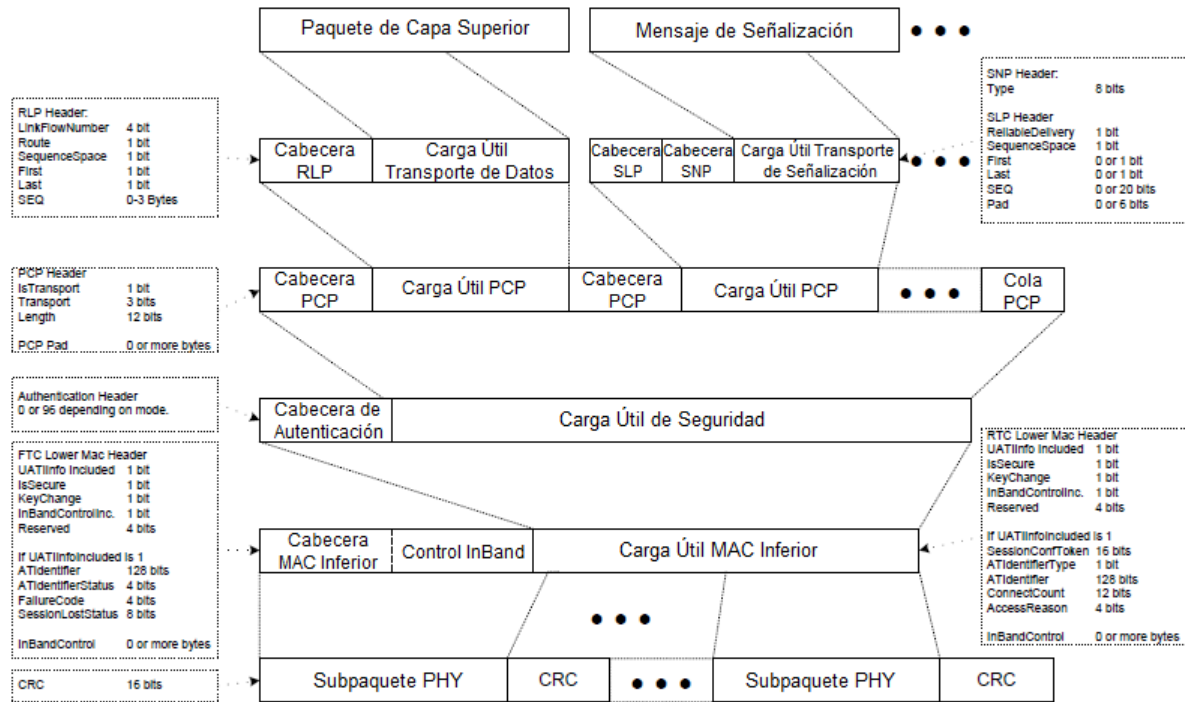


Figura 2.5: Entramado de Paquetes en MBWA

Las cabeceras RLP correspondientes al Protocolo de Enlace de Radio o *Radio Link Protocol* son añadidas a la carga útil de transporte de datos para la transmisión y posteriormente removidas en la recepción, es decir que es un protocolo portador que proporciona segmentación y re ensamblaje de paquetes recibidos de capas superiores. El Protocolo de Enlace de Radio es un protocolo que permite realizar una retransmisión de datos *Nak-Based*, es decir que realiza la retransmisión cuando ha recibido un ACK negativo por la presencia de algún problema en la transmisión; el RLP permite reducir considerablemente el porcentaje de pérdida de paquetes hasta alcanzar un valor aproximadamente de 0.01 %. Las cabeceras SLP y SNP son añadidas para la transmisión a la carga útil de transporte de señalización por los protocolos de Señalización de Enlace y de Señalización de Red respectivamente.

Un paquete del Protocolo de Consolidación de Paquetes (PCP) puede contener cero o más paquetes de transporte de datos y cero o más paquetes de transporte de señalización;

es decir que los paquetes PCP se utilizan tanto para transporte de información como de señalización. Las cabeceras PCP son añadidas a los paquetes de transporte para la transmisión y removidas en la recepción para encaminar los paquetes al transporte correcto.

Finalmente se añaden las cabeceras de autenticación para garantizar la seguridad de los paquetes transmitidos y las cabeceras de la subcapa MAC Inferior antes de pasar a la capa física en donde se subdivide un paquete MAC en subpaquetes, cada uno de los cuales tiene su propia protección CRC[8].

#### 2.1.1.4. Sesión y Conexión de Terminales de Acceso

Una sesión consiste en un estado compartido entre el terminal de acceso y la red de acceso; dicho estado compartido almacena los protocolos y las configuraciones de protocolo que fueron negociadas y que son usadas para establecer las comunicaciones entre el terminal y la red de acceso. En este sentido queda claro que un AT no puede comunicarse con una AN sin tener una sesión abierta.

Un terminal de acceso con una sesión abierta puede encontrarse en uno de los siguientes tres estados:

- **Conectado:** En este estado al terminal de acceso se le asigna un MAC ID desde al menos un sector de la red; el AT regularmente monitoriza el *overhead* y la asignación de canales y envía un Indicador de Calidad de Canal (CQI) a la red de acceso con cierta periodicidad. Si el AT no tiene recursos de tráfico, en este estado se le asigna recursos de tráfico dentro de una trama de la capa física, proceso que toma aproximadamente 1 milisegundo. La conmutación hacia el estado Conectado se conoce como apertura de conexión y la conmutación desde el estado Conectado se conoce como cierre de conexión.
- **Monitor:** En el estado Monitor el terminal de acceso no tiene asignada ninguna MAC ID, y se encarga continuamente de monitorizar el *overhead* y los canales de paginación de la red de acceso. El AT puede ser paginado dentro de una super trama y necesita pasar por un proceso de acceso para conmutar al estado Conectado.
- **Inactivo:** Operacionalmente, el estado Inactivo es idéntico al estado Monitor; aunque adicionalmente en este estado el terminal de acceso y la red de acceso coinciden en un ciclo de paginación. El AT no necesita recibir ninguna transmisión desde la AN entre los ciclos de paginación.

Durante una sola sesión, el terminal y la red de acceso pueden establecer y cerrar conexiones en múltiples ocasiones, lo cual significa que pueden conmutar entre cualquiera de los estados varias veces a lo largo de una sesión[6][8].

### 2.1.2. Especificaciones de la Capa de Control de Acceso al Medio

La Capa de Control de Acceso al Medio o Capa MAC se divide en seis subcapas tal como se muestra en la Figura 2.4 y dentro de cada una de las seis subcapas se implementan varios protocolos que en conjunto permiten que cada subcapa lleve a cabo su función dentro de la Capa MAC de los sistemas MBWA *Wideband*. En las siguientes subsecciones se realizará una descripción de cada una de las subcapas presentes en la Capa de Control de Acceso al Medio y de todos los protocolos incorporados dentro de las mismas, así como también de sus principales funciones.

La descripción se realizará en orden descendente, es decir desde las subcapas superiores a las inferiores, y de manera alternada entre subcapas con protocolos no portadores y subcapas con protocolos portadores, ya que en cada nivel se incorporan subcapas con los dos tipos de protocolos. Las subcapas con protocolos no portadores de manera general son las encargadas del control de las que incorporan protocolos portadores en el mismo nivel.

#### 2.1.2.1. Subcapa de Control de Sesión

La Subcapa de Control de Sesión contiene cinco protocolos utilizados para negociar una sesión entre el terminal de acceso y la red de acceso. Esta subcapa está conformada por protocolos no portadores, por lo que el contenido de los paquetes transmitidos y recibidos no se modifica a causa de los mismos.

Como se mencionó en la sección anterior, una sesión es un estado compartido mantenido entre el AT y la AN, y para mantener ese estado es imprescindible que se lleven a cabo las siguientes funciones:

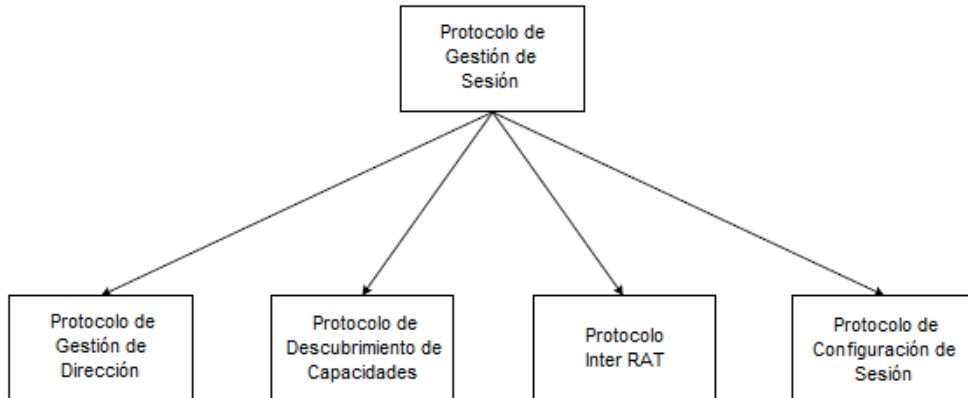
- Asignación de una dirección *Unicast* al AT, conocida como UATI
- Utilización de la pila de protocolos y aplicaciones utilizadas tanto por el AT como por la AN para comunicarse sobre el enlace de aire
- Configuración de los parámetros para dichos protocolos y aplicaciones

En la sección de Sesión y Conexión se mencionaba también que el AT y la AN pueden abrir y cerrar conexiones en múltiples ocasiones, sin embargo, hay que recalcar que una conexión será cerrada solamente en raras ocasiones, y que el cierre de una conexión se producirá principalmente cuando el AT abandone un área de cobertura o cuando no se encuentre disponible por periodos de tiempo prolongados[6].

En la Subcapa de Control de Sesión operan los cinco protocolos no portadores que se listan a continuación:

- Protocolo de Gestión de Sesión
- Protocolo de Gestión de Dirección
- Protocolo de Configuración de Sesión
- Protocolo de Descubrimiento de Capacidades
- Protocolo Inter RAT o *Inter Radio Access Technology*

La relación existente entre los protocolos mencionados se ilustra en la Figura 2.6[11].



**Figura 2.6: Protocolos de la Subcapa de Control de Sesión**

### **Protocolo de Gestión de Sesión**

Este protocolo proporciona los medios para controlar la activación y desactivación de los protocolos de Gestión de Dirección, de Descubrimiento de Capacidades, Inter RAT y



de Configuración de Sesión; y adicionalmente maneja un mecanismo que asegura que la sesión se mantenga vigente y gestiona el procedimiento para el cierre de la misma.

El protocolo de Gestión de Sesión maneja varios estados en su funcionamiento, estados que se relacionan directamente con el establecimiento de una sesión entre un AT y una AN. De manera general, durante el establecimiento de una sesión el protocolo puede encontrarse en uno de los siguientes cuatro estados:

- **Estado de Inactividad:** En este estado no existe ninguna comunicación entre el AT y la AN, y se aplica solamente sobre el AT. La comunicación no es posible debido a que la AN no puede determinar la existencia de los AT que se encuentran en este estado, aún cuando estén dentro de su área de cobertura.
- **Estado de Configuración AMP:** En este estado el AT y la AN llevan a cabo un intercambio de mensajes que es manejado por el protocolo de Gestión de Dirección, mensajes que tienen como objetivo la asignación de una dirección UATI al AT por parte de la AN. El protocolo de Gestión de Sesión en el AT envía una petición a la AN preguntando por la sesión a ser abierta y espera por la respuesta del protocolo de Gestión de Dirección.
- **Estado Abierto:** En este estado el AT tiene asignada una dirección UATI y se define cuando el AT y la AN establecen una sesión. En el estado abierto tanto el AT como la AN deben soportar el mecanismo *keep-alive* para mantener activa la sesión.
- **Estado Cerrado:** Se aplica solamente a la AN, y en este estado la AN espera por un mensaje de cierre enviado desde el AT para dar por finalizada la sesión, o en su defecto espera por la expiración de los temporizadores del estado cerrado.

Este protocolo utiliza el transporte de señalización para transmitir y recibir mensajes, y tanto el comportamiento real como el intercambio de mensajes en cada estado del protocolo son principalmente gobernados por los protocolos que son activados por el protocolo de Gestión de Sesión. Estos protocolos activados devuelven indicaciones, las cuales desencadenan la transición entre los diferentes estados.

La Figura 2.7 muestra una visión general de los estados en un terminal de acceso y de las transiciones que pueden darse entre dichos estados.

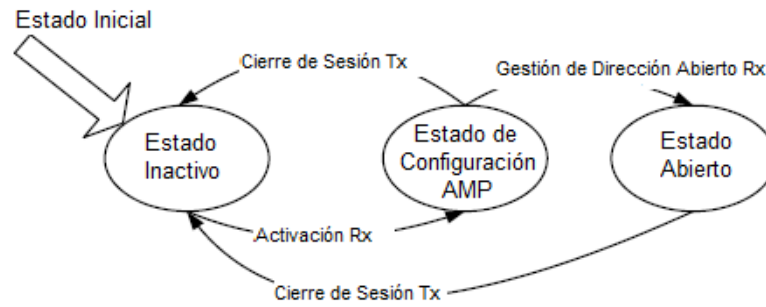


Figura 2.7: Diagrama de estados del protocolo de Gestión de Sesión en un AT

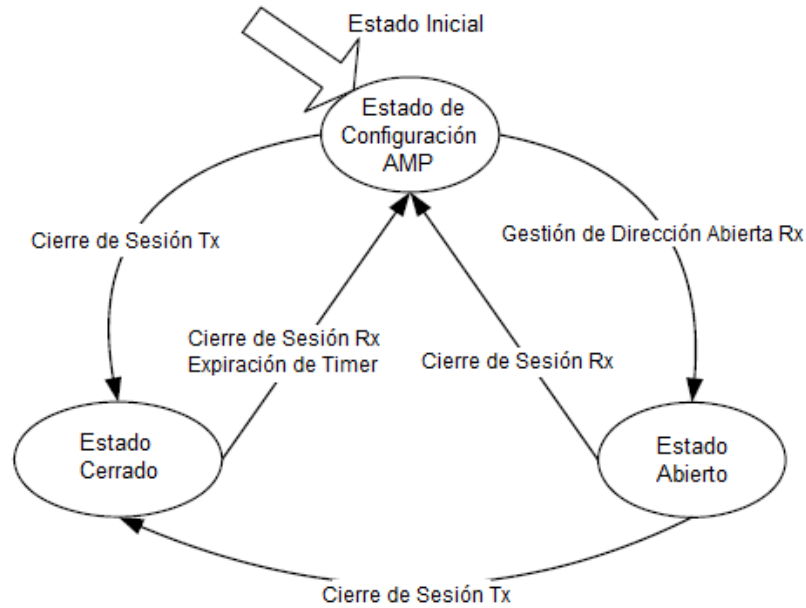
Como puede observarse en la Figura 2.7 el estado inicial del AT es el estado de inactividad. Para pasar del estado de inactividad al de configuración AMP el AT envía un mensaje de activación; y una vez que se ha establecido el estado de configuración AMP, el AT envía a la AN un mensaje de Apertura de Sesión y un comando de activación de Gestión de Dirección al protocolo pertinente, y espera por una respuesta.

Si el AT recibe una indicación de apertura por parte del protocolo de Gestión de Dirección emite comandos de activación de Descubrimiento de Capacidades, de Inter RAT, de Configuración de Sesión y devuelve una indicación de que se ha establecido la sesión para posteriormente conmutar al estado abierto.

Cuando se encuentra en el estado abierto el AT debe ser capaz de manejar el mecanismo *keep-alive*. Para el funcionamiento del mecanismo *keep-alive*, tanto el AT como la AN deben monitorizar el tráfico desde y hacia el AT. Si el AT o la AN detectan un cierto periodo de inactividad pueden enviar un mensaje de petición *KeepAlive* para determinar si existe una sesión establecida; y el dispositivo que recibe este mensaje debe responder con un mensaje de respuesta *KeepAlive*.

Si el AT no detecta ningún tráfico desde la AN dirigido hacia él por un cierto periodo de tiempo, inicia los procedimientos necesarios para cerrar la sesión establecida y posteriormente conmuta al estado de inactividad.

La Figura 2.8 muestra una visión general de los estados de una red de acceso y de las transiciones que pueden darse entre dichos estados.



**Figura 2.8:** Diagrama de estados del protocolo de Gestión de Sesión en una AN

El estado inicial en la AN es el estado de configuración AMP. En este estado la AN espera por un mensaje de Apertura de Sesión, y cuando recibe dicho mensaje debe emitir un comando de activación de Gestión de Dirección hacia el protocolo respectivo. Si la AN recibe una indicación de apertura de Gestión de Dirección, debe emitir comandos de activación de Descubrimiento de Capacidades, de Inter RAT, de Configuración de Sesión y devolver una indicación de apertura de sesión para finalmente conmutar al estado abierto.

En el estado abierto al igual que en el AT se debe manejar el mecanismo *keep-alive* para el mantenimiento de la sesión establecida. Si la AN no detecta ningún tráfico desde un AT dirigido hacia ella por un cierto periodo de tiempo, inicia los procedimientos para cerrar la sesión y conmuta al estado de configuración AMP.

Para que la AN pase por el estado cerrado antes de pasar al estado de configuración AMP, debe configurarse necesariamente el temporizador de estado cerrado; de esta manera cuando la AN recibe un mensaje de Cierre de Sesión o cuando el temporizador de estado cerrado expira, el protocolo de Gestión de Sesión en la AN realiza los procedimientos para cerrar la sesión establecida y conmuta al estado de configuración AMP[11].

### Protocolo de Gestión de Dirección

El protocolo de Gestión de Dirección permite llevar a cabo principalmente dos funciones

que son:

- Asignación inicial de la dirección UATI
- Mantenimiento de la UATI asignada al terminal de acceso a medida que se mueve entre diferentes subredes

Este protocolo utiliza el transporte de señalización para transmitir y recibir mensajes, y al igual que el protocolo de Gestión de Sesión opera en varios estados, tal como se describe a continuación.

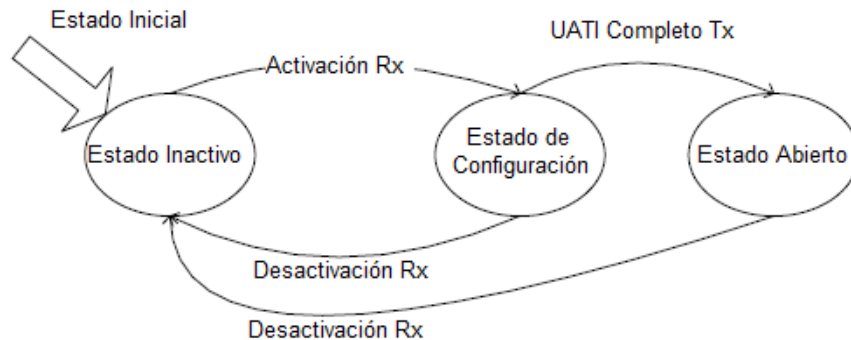
- **Estado de Inactividad:** En este estado no existe ninguna comunicación entre el AT y la AN, esto debido a que el AT no tiene una UATI asignada y por consiguiente la AN no debe mantener ninguna dirección para el AT y tampoco tiene la capacidad de detectar su existencia aún cuando se encuentre en el área de cobertura.
- **Estado de Configuración:** En este estado el AT y la AN llevan a cabo un completo intercambio de mensajes para realizar el procedimiento de Asignación UATI por medio del cual se le designa una dirección UATI al AT.
- **Estado Abierto:** El estado abierto se establece cuando al AT se le ha asignado una UATI. Cuando esta dirección ya fue asignada, el AT y la AN pueden también llevar a cabo procedimientos de Petición de Actualización y Asignación de UATI con el objetivo de que el AT pueda obtener una nueva dirección.

El estado inicial del AT es el de inactividad, y cuando el AT se encuentra en este estado debe llevar a cabo funciones como configurar el valor de la UATI y de la máscara de subred a *NULL*, al mismo tiempo que desactiva los temporizadores de dirección. En el momento en que el AT recibe un comando de activación, debe conmutar inmediatamente al estado de configuración.

Una vez alcanzado el estado de configuración el AT se mantiene a la espera del mensaje de Asignación UATI, y si dicho mensaje no es recibido dentro de un periodo de tiempo determinado después de haber alcanzado el estado de configuración, el AT debe enviar un mensaje de Fallo y conmutar al estado de inactividad nuevamente; por el contrario si el AT recibe el mensaje de Asignación UATI debe validarlo y en caso de ser válido lleva a

cabo las funciones de configurar la dirección y máscara de subred UATI especificadas en el mensaje, enviar mensajes de confirmación de que se ha establecido la sesión y se ha configurado la UATI y finalmente realizar la transición al estado abierto.

La Figura 2.9 presentada a continuación muestra los tres estados del protocolo, así como los mensajes y los eventos que dan lugar a la transición entre los diferentes estados en un AT.



**Figura 2.9: Diagrama de estados del protocolo de Gestión de Dirección en un AT**

Ya en el estado abierto, si el AT recibe una indicación de Gestión de *Active Set*, entonces debe enviar un mensaje de Petición de Actualización UATI, siempre y cuando al menos una de las siguientes dos condiciones sea cierta.

- Si la máscara de subred UATI no es igual a la máscara de subred del sector en el *Active Set*
- Si el resultado de la operación lógica *AND* bit a bit entre la UATI y su máscara de subred es diferente al resultado de la operación lógica *AND* bit a bit entre el ID de Sector y la máscara de subred, los dos correspondientes al sector que se está utilizando en el *Active Set*

Una vez que se ha enviado el mensaje de Petición de Actualización UATI, el AT inicia un temporizador de respuesta UATI con un tiempo de conteo configurable, el mismo que se desactivará y dejará de contar en cualquiera de los dos siguientes casos:

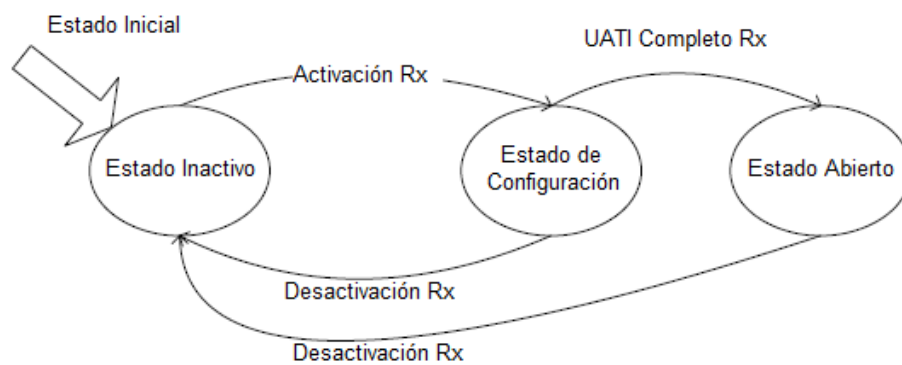
- Si la máscara de subred UATI es igual a la máscara de subred del sector en el *Active Set* y el resultado de la operación lógica *AND* bit a bit entre la UATI y su

máscara de subred es igual al resultado de la operación lógica *AND* bit a bit entre el ID de Sector y la máscara de subred, los dos correspondientes al sector que se está utilizando en el *Active Set*

- Si el AT recibe un mensaje de Asignación UATI válido

En el caso de que el temporizador de respuesta UATI expire antes de recibir un mensaje, el AT envía indicación de Fallo y conmuta inmediatamente al estado de inactividad; si por el contrario el mensaje de Asignación es recibido, el AT debe validarlo y en caso de ser válido debe llevar a cabo las funciones de configurar la dirección y máscara de subred UATI especificadas en el mensaje y enviar una indicación de que el proceso de Asignación ha sido completado satisfactoriamente.

La Figura 2.10 ilustra el diagrama de estados presentes en una AN.



**Figura 2.10: Diagrama de estados del protocolo de Gestión de Dirección en una AN**

Como puede observarse en la Figura 2.10 el estado inicial de la AN es el estado de inactividad, y cuando se encuentra en este estado la AN debe encargarse de configurar el valor de la dirección UATI y de la máscara de subred UATI a NULL y prepararse para realizar la transición al estado de configuración en caso de recibir un comando de Activación.

Una vez que se ha iniciado el estado de configuración en la AN, esta tiene la obligación de asignar una dirección UATI al AT para la sesión que se va a iniciar y posteriormente de enviar un mensaje de Asignación UATI. Cuando la AN recibe la confirmación de que se ha configurado la UATI en el AT, devuelve una indicación de Asignación UATI y finalmente conmuta al estado abierto. Si la AN no recibe la confirmación de configuración

como respuesta al mensaje de Asignación puede realizar un número determinado de retransmisiones del mensaje de Asignación hasta obtener respuesta; y en caso de no obtener ninguna respuesta luego de dichas retransmisiones envía una indicación de Fallo y regresa al estado de inactividad.

Cuando se establece el estado abierto la AN está en la capacidad de enviar mensajes de Asignación UATI en cualquier momento, teniendo en cuenta que algunos de los motivos que pueden disparar el envío de dichos mensajes son los siguientes:

- Recepción de una indicación de Gestión de *Active Set*
- Recepción de un comando de Actualización UATI
- Recepción de un mensaje de Petición de Actualización UATI válido

Al mismo tiempo que se envía el mensaje de Asignación UATI se envía una indicación de cambio de subred, que es principalmente la causa por la cual se realiza una re-asignación de dirección. Al momento de enviar el mensaje de Asignación, la AN le otorga una dirección UATI al AT e incluye esta información en el mensaje que va a ser enviado.

Una vez que la AN recibe la confirmación de que la Asignación se ha completado, envía una indicación de UATI Asignada y da por terminado el proceso. En caso de que la confirmación no sea recibida luego de un intervalo de tiempo establecido por la AN, se lleva a cabo un número determinado de retransmisiones del mensaje de Asignación, y si aún así no se recibe una confirmación como respuesta, la AN envía una indicación de Fallo y conmuta al estado de inactividad[11].

### **Protocolo de Configuración de Sesión**

El protocolo de Configuración de Sesión proporciona los medios para la negociación y configuración de la pila o conjunto de *Tokens* de Configuración de Sesión utilizados durante una sesión. Este protocolo al igual que los dos anteriores utiliza el transporte de señalización para el envío y recepción de mensajes.

Un *Token* de Configuración de Sesión es una palabra de 16 bits que define una pila completa de instancias de protocolos y transportes que pueden ser utilizadas para realizar la comunicación entre el terminal de acceso y la red de acceso.

Una instancia de protocolo está formada por el subtipo de protocolo, datos públicos dinámicos y valores de atributo de protocolo. Cada protocolo posee y actúa sobre algunos parámetros que se denominan datos de protocolo; los datos de protocolo son públicos si el valor de los mismos es visible fuera del protocolo, es decir que pueden ser leídos por otros protocolos dentro de la misma ruta y fuera de ella. Estos mismos datos públicos son dinámicos debido a que pueden tomar diferentes valores en diferentes rutas. Cuando el valor de los datos de protocolo puede ser negociado entre el AT y la AN utilizando servicios de configuración proporcionados por la instancia *InUse* del protocolo de Gestión de Sesión, toman el nombre de atributos de protocolo.

De la misma manera una instancia de transporte consiste en el subtipo de transporte, en datos públicos dinámicos y en valores de atributo.

Un *Token* de Configuración de Sesión es *InUse* si la pila de instancias de protocolos y transportes especificada por el *Token* está siendo actualmente utilizada para establecer la comunicación entre el AT y la AN; en caso contrario el *Token* de Configuración de Sesión está Suspendido. Solamente un *Token* de Configuración de Sesión puede ser *InUse* al mismo tiempo.

De la misma manera, una instancia de protocolo o transporte es *InUse* si actualmente está siendo utilizada para establecer comunicación entre el AT y la AN; de otra manera la instancia de protocolo o transporte está Suspendida. Solamente una instancia de protocolo de un tipo de protocolo puede ser *InUse* al mismo tiempo, y solamente una instancia de transporte correspondiente al Transporte en el Protocolo de Consolidación de Paquetes puede ser *InUse* en el mismo instante. Una instancia de protocolo o transporte debe corresponderse exactamente a un *Token* de Configuración de Sesión[6].

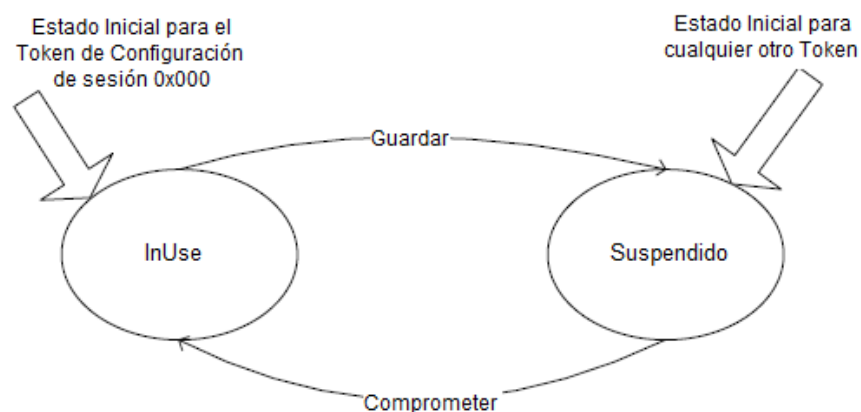


Figura 2.11: Diagrama de estados del *Token* de Configuración de Sesión

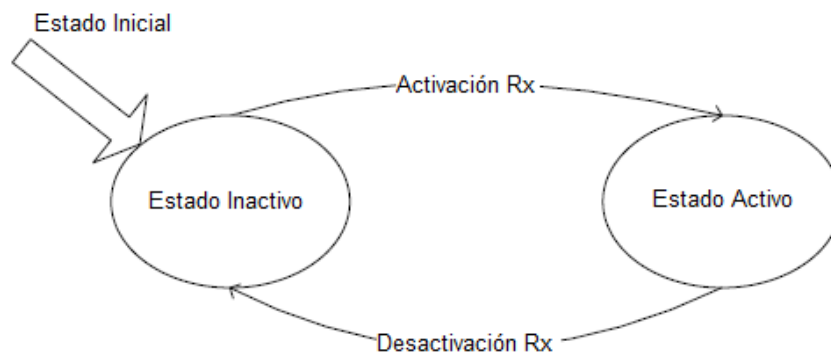


El protocolo de Configuración de Sesión ejecuta dos procesos independientes para intercambiar las instancias *InUse* de protocolos y transportes asociadas con el actual *Token InUse* de Configuración de Sesión con las instancias Suspendidas de protocolos y transportes asociadas con el *Token Suspendido* de Configuración de Sesión. El diagrama de estados del *Token* de Configuración se presenta en la Figura 2.11.

Una vez definidos los estados del *Token* de configuración, cabe mencionar que el protocolo de Configuración de Sesión puede operar en dos estados distintos.

- **Estado Inactivo:** En este estado el protocolo espera por un comando de Activación y no existe ningún tipo de comunicación entre el AT y la AN.
- **Estado Activo:** En este estado la AN puede preguntar al AT sobre la forma en que los *Tokens* de Configuración de Sesión son soportados y puede cambiar el *Token InUse* utilizado en ese momento.

El diagrama de estados del protocolo así como los mensajes y eventos que ocasionan la transición entre los dos estados se puede observar en la Figura 2.12.



**Figura 2.12:** Diagrama de estados del protocolo de Configuración de Sesión

En el estado inactivo el protocolo debe establecer el *Token* de Configuración de Sesión al valor 0x0000 que es el *Token InUse* por defecto, tal como se muestra en la Figura 2.11. Si el protocolo recibe un comando de Activación en este estado inicia inmediatamente la transición hacia el estado activo.

En el estado activo el AT debe enviar un mensaje de Petición de Actualización de *Token* para solicitarle a la AN el cambio del valor del *Token* de Configuración. Si el AT

recibe como respuesta un mensaje de Asignación de *Token*, tiene la obligación de validarlo, y en caso de ser válido lleva a cabo el siguiente procedimiento:

- Si el *Token* de Configuración de Sesión especificado en el mensaje de Asignación es el mismo que el actual *Token InUse*, el protocolo de Configuración de Sesión debe enviar un mensaje de que la Asignación se ha completado.
- En otro caso, si el *Token* de Configuración de Sesión enviado en el mensaje no especifica un *Token* que se encuentre Suspendido, el AT debe enviar una indicación de Fallo y conmutar al estado inactivo.
- En otro caso, si el *Token* de Configuración de Sesión indicado en el mensaje es diferente al actual *Token InUse*, el AT envía un mensaje informando que la Asignación de *Token* se ha completado, ejecuta el procedimiento para pasar el *Token* del estado Suspendido al estado *InUse*, configura el *Token* al valor indicado en el mensaje de Asignación y finalmente envía un mensaje de reconfiguración.

El procedimiento realizado en la AN es exactamente el mismo que se especificó para el AT[11].

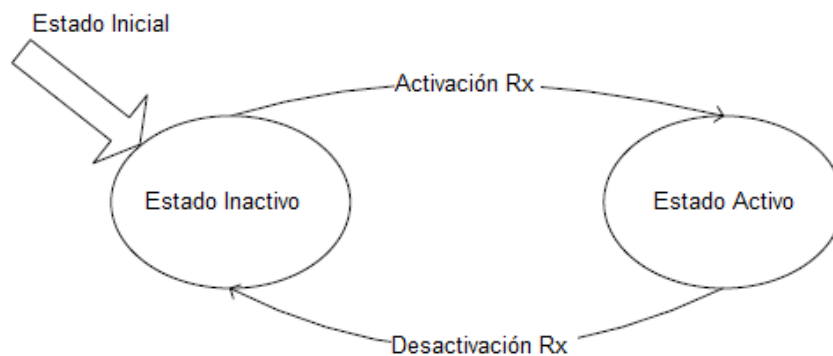
### Protocolo de Descubrimiento de Capacidades

El protocolo de Descubrimiento de Capacidades le permite a la red de acceso descubrir las capacidades del terminal de acceso. Al igual que los protocolos especificados anteriormente, para su funcionamiento este protocolo transmite y recibe sus mensajes utilizando el transporte de señalización.

El protocolo de Descubrimiento de Capacidades puede operar en dos estados y tiene la capacidad de conmutar entre esos dos estados para llevar a cabo sus funciones. Los dos estados de funcionamiento del protocolo son:

- **Estado Inactivo:** En este estado el protocolo espera por un comando de Activación y mientras se mantiene en el estado de inactividad no es posible ninguna comunicación entre el AT y la AN.
- **Estado Activo:** En el estado activo el AT y la AN llevan a cabo un intercambio de mensajes de Petición de Capacidades y de Respuesta de Capacidades; obviamente los mensajes de Petición son enviados por la AN y los de Respuesta por el AT[11].

La Figura 2.13 representa el diagrama de estados presentes en la operación del protocolo de Descubrimiento de Capacidades.



**Figura 2.13:** Diagrama de estados del protocolo de Descubrimiento de Capacidades

Los atributos simples de configuración que están asociados con este protocolo se muestran en la Tabla 2.1[11].

**Tabla 2.1: Atributos simples asociados con el protocolo**

<b>ID</b>	<b>Atributo</b>	<b>Valor x Defecto</b>	<b>Significado</b>
0x0000	<i>NumRxAntennas</i>	0x0001	Número de antenas de recepción soportadas en el AT
0x0001	<i>MaxPacketFormatFwd</i>	0x0001	Número máximo de paquetes de formato que pueden ser soportados por el AT en el enlace de bajada
0x0002	<i>MaxPacketFormatRev</i>	0x0001	Número máximo de paquetes de formato que pueden ser soportados por el AT en el enlace de subida
0x0003	<i>MaxMIMOAssignmentFwd</i>	0x0000	Máximo número de subportadoras que pueden ser asignadas al AT en el enlace de bajada
0x0004	<i>NumCarriers</i>	0x0001	Número máximo de portadoras soportadas por el AT en el modo multi portadora
0x0005	<i>MaxInterlaceAssignmentFwd</i>	0x0001	Número máximo de entrelazados en los cuales el AT puede recibir simultáneamente paquetes MAC en el <i>downlink</i>
0x0006	<i>MaxInterlaceAssignmentRev</i>	0x0001	Número máximo de entrelazados en los cuales el AT puede recibir simultáneamente paquetes MAC en el <i>uplink</i>
0x0007	<i>MaxPacketSizeFwd</i>	0x0001	Longitud máxima del paquete que puede ser recibido por el AT en el <i>uplink</i> en kbits
0x0008	<i>MaxPacketSizeRev</i>	0x0001	Longitud máxima del paquete que puede ser recibido por el AT en el <i>downlink</i> en kbits
0x0009	<i>SCWLayerSupported</i>	0x0000	Máximo número de capas que el AT puede soportar en transmisiones MIMO SCW
0x000a	<i>MCWLayerSupported</i>	0x0000	Máximo número de capas que el AT puede soportar en transmisiones MIMO MCW
0x000b	<i>STTDsupport</i>	0x0000	Soporte de transmisiones STTD en el AT
0x000c	<i>HalfDuplexSupportRequired</i>	0x0000	Requerimiento para soporte de <i>Half Duplex</i> desde el AN
0x000d	<i>MaxPHYSubPacketSize</i>	0x0000	Máximo tamaño de paquete de capa física soportado en el AT

## Protocolo *Inter Radio Access Technology* o Inter RAT

El protocolo Inter RAT proporciona los medios para que la red de acceso y el terminal de acceso puedan realizar el envío y la recepción de mensajes hacia otras tecnologías de acceso de radio. Para el envío y la recepción de dichos mensajes hace uso del transporte de señalización.

De manera similar a los protocolos analizados anteriormente, el protocolo Inter RAT basa su funcionamiento en dos estados, uno de inactividad y otro de actividad.

- **Estado Inactivo:** En el estado inactivo el protocolo espera por un comando de Activación y mientras este comando no sea recibido no existe ningún tipo de comunicación entre el AT y la AN.
- **Estado Activo:** En el estado activo tanto el AT como la AN pueden enviar un mensaje Inter RAT para establecer la comunicación.

La Figura 2.14 muestra el funcionamiento del protocolo por medio de su respectivo diagrama de estados.



**Figura 2.14:** Diagrama de estados del protocolo Inter RAT

Mediante el comando de Activación se realiza la conmutación del estado inactivo al estado activo, y una vez que se ha alcanzado el estado activo, el AT o la AN están en la capacidad de enviar mensajes hacia otras tecnologías de acceso de radio cuando el caso lo amerita. Dado que el funcionamiento del protocolo es exactamente igual en el AT y la AN, el diagrama de estados mostrado en la Figura 2.14 se aplica para los dos casos.

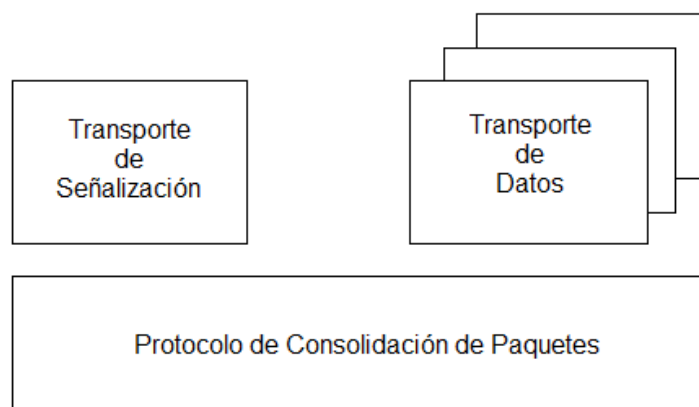
### 2.1.2.2. Subcapa de Convergencia

La Subcapa de Convergencia contiene dos transportes y un protocolo portador que tienen la función principal de transportar mensajes y datos entre el terminal de acceso y la red de acceso.

El protocolo y los transportes que operan en la Subcapa de Convergencia son los siguientes:

- Transporte de Señalización
- Transporte de Datos o Paquetes
- Protocolo de Consolidación de Paquetes

La relación existente entre los transportes y protocolos presentes en la Subcapa de Convergencia se muestran en la Figura 2.15[11].



**Figura 2.15: Protocolos de la Subcapa de Convergencia**

#### Transporte de Señalización

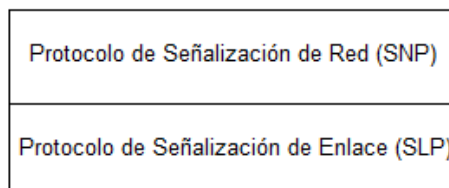
El transporte de Señalización proporciona los medios para el servicio de transmisión y transporte de mensajes de señalización entre un protocolo o transporte en una entidad y el mismo protocolo o transporte en otra entidad. El transporte de Señalización está formado por un protocolo de mensajería llamado Protocolo de Señalización de Red (SNP) y por un protocolo de capa de enlace llamado Protocolo de Señalización de Enlace (SLP) que es el encargado de realizar fragmentación, re-ensamblaje y retransmisión para asegurar una entrega confiable de mensajes.

Los mensajes que son transportados son los encargados de realizar la administración y el manejo de los diferentes objetos de los protocolos de la interfaz de aire presentes en la red de acceso y en el terminal de acceso.

El SNP maneja una cabecera formada por un octeto de bits que define el tipo de protocolo o transporte con el cual está asociado el mensaje que se está transmitiendo. Adicionalmente este protocolo utiliza la cabecera para enrutar el mensaje hacia la instancia de transporte o protocolo apropiados.

El SLP proporciona fragmentación y re-ensamblaje de mensajes, entrega por el método de mejor esfuerzo de los mensajes, y entrega confiable con detección duplicada para los mensajes que requieren más garantías en la entrega; la opción de utilizar una entrega basada en mejor esfuerzo o una entrega confiable es configurable en los parámetros del protocolo.

La relación para el funcionamiento de los dos protocolos del transporte de Señalización se presente en la Figura 2.16[8][11].



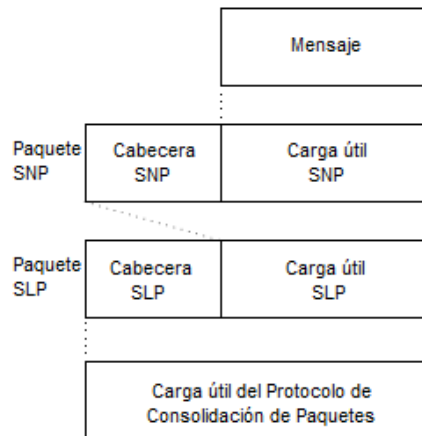
**Figura 2.16: Protocolos del Transporte de Señalización**

En cuanto a la encapsulación de datos que se realiza en el transporte de Señalización, puede decirse que se realiza en dos niveles, es decir que los mensajes que llegan al transporte pasan por dos etapas de encapsulación antes de convertirse en la carga útil del protocolo de Consolidación de Paquetes. Inicialmente a los mensajes se les añade la cabecera del protocolo SNP para formar un paquete SNP, y dicho paquete se convierte en la carga útil del protocolo SLP en el cual se añaden las respectivas cabeceras para formar el paquete SLP, el mismo que se convierte en la carga útil para el protocolo PCP.

La encapsulación de los datos puede incluir también una fragmentación de los mismos luego de la primera etapa. Es decir que el mensaje llega al protocolo SNP, en donde se agrega la cabecera para la formación del paquete, y es este paquete SNP el que posteriormente es fragmentado por el protocolo SLP. La fragmentación divide a la carga útil del protocolo SLP en varias partes, a cada una de las cuales se le añade su propia cabecera para la

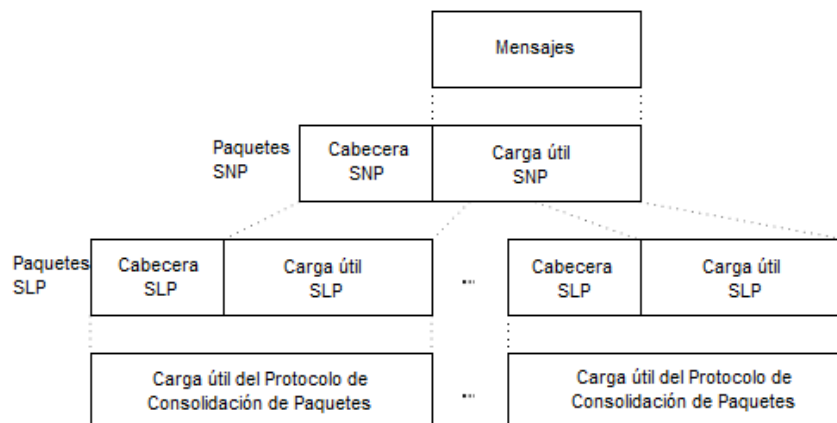
formación de los paquetes. Finalmente cada uno de estos paquetes SLP se convierte en carga útil para el protocolo de Consolidación de Paquetes.

La formación de paquetes SNP y SLP a partir de los mensajes recibidos en el transporte se muestra en la Figura 2.17.



**Figura 2.17: Encapsulación de mensajes sin fragmentación**

La formación de paquetes SNP y SLP con fragmentación se muestra en la Figura 2.18.



**Figura 2.18: Encapsulación de mensajes con fragmentación**

En la encapsulación se menciona a la cabecera que añade el protocolo SNP a los mensajes que recibe, esta cabecera contiene un solo campo de 8 bits que define el Tipo de protocolo o transporte hacia el cual va dirigido el mensaje. El protocolo indicado en la cabecera es definido por el *Token InUse* de Configuración de sesión; por ejemplo el Tipo 0x11 corresponde al protocolo de Gestión de Sesión de la Subcapa de Control de Sesión.

El resto del contenido del paquete SNP que se encuentra después de la cabecera, es



decir el mensaje o carga útil de información, es procesado por el protocolo especificado en la misma cabecera una vez que el protocolo SNP lo enruta adecuadamente. Si el mensaje tiene que ser transmitido por un Canal de Tráfico Directo o Inverso y no existe una conexión abierta, el protocolo SNP envía un comando solicitando la apertura de una conexión; y mientras recibe una indicación de apertura de conexión va almacenando los mensajes a ser transmitidos en una pila.

Todo el proceso explicado anteriormente en la encapsulación resume adecuadamente el funcionamiento del protocolo SLP, solamente cabe mencionar que el proceso de fragmentación se lleva a cabo cuando el paquete SNP excede el valor máximo de carga útil que puede recibir el protocolo SLP, y es por esta razón que se hace necesaria la división de este paquete en varios subpaquetes. La cabecera utilizada en el protocolo SLP permite especificar si la transmisión es confiable o por mejor esfuerzo y también permite determinar el orden de los paquetes para su posterior re-ensamblaje[11].

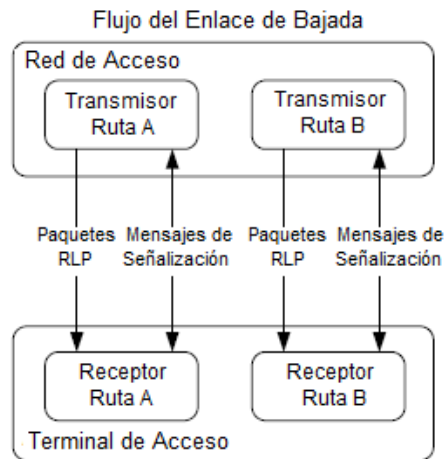
### **Transporte de Datos**

El Transporte de Datos o Paquetes proporciona los medios para la transmisión de datos de capas superiores. Este transporte es responsable de la fragmentación y re-ensamblaje de los paquetes, así como también de la entrega confiable y el control de flujo de los mismos[8].

El transporte de Datos ofrece múltiples flujos de paquetes que pueden ser utilizados para el intercambio de paquetes de información entre el terminal de acceso y la red de acceso; cada flujo de paquetes es denominado *Link Flow* o Enlace de Flujo y ofrece dos rutas para la transmisión y recepción de cargas útiles de datos de capas superiores.

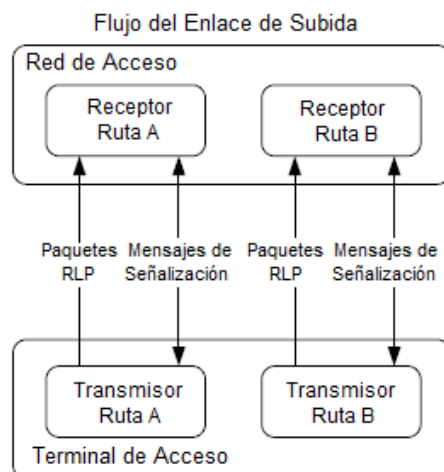
Estas rutas se denominan Ruta A y Ruta B y pueden establecerse utilizando un solo par receptor-transmisor, por lo que cada ruta es asociada con un par transmisor-receptor.

La Figura 2.19 muestra la relación existente entre un Enlace de Flujo de bajada y los transmisores y receptores asociados a sus dos rutas.

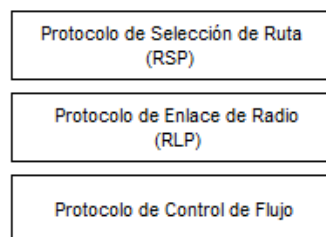


**Figura 2.19: Arquitectura de Referencia para un Enlace de Flujo de Bajada**

La Figura 2.20 muestra la misma relación presentada en la Figura 2.19 pero en un Enlace de Flujo de subida.



**Figura 2.20: Arquitectura de Referencia para un Enlace de Flujo de Subida**

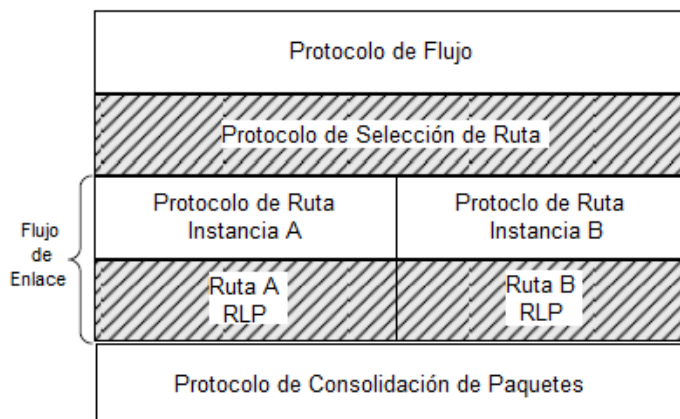


**Figura 2.21: Protocolos del Transporte de Datos**

Dentro del transporte de Datos operan varios protocolos que en conjunto son los encargados de proporcionarle al transporte toda la funcionalidad para la cual ha sido

diseñado; los protocolos pertenecientes al transporte de Datos son los que muestran en la Figura 2.21.

La Figura 2.22 ilustra la relación existente entre el transporte de Datos y los protocolos de capas superiores soportados para cada Enlace de Flujo.



**Figura 2.22: Relación entre el Transporte de Datos y los protocolos de capa superior**

El Protocolo de Flujo y el Protocolo de Enrutamiento son los mencionados protocolos de capa superior, y dado que la descripción de las capas superiores en los sistemas MBWA no forma parte del presente estudio, dichos protocolos serán solamente mencionados a manera de referencia. El protocolo de Selección de Ruta enruta los PDU del protocolo de Flujo tanto a la instancia A como a la instancia B del protocolo de Enrutamiento, y cada una de las instancias está ligada a su respectiva Ruta en el Enlace de Flujo. Como puede observarse en la Figura 2.22, los protocolos definidos en el transporte de Datos se presentan en los recuadros sombreados[8].

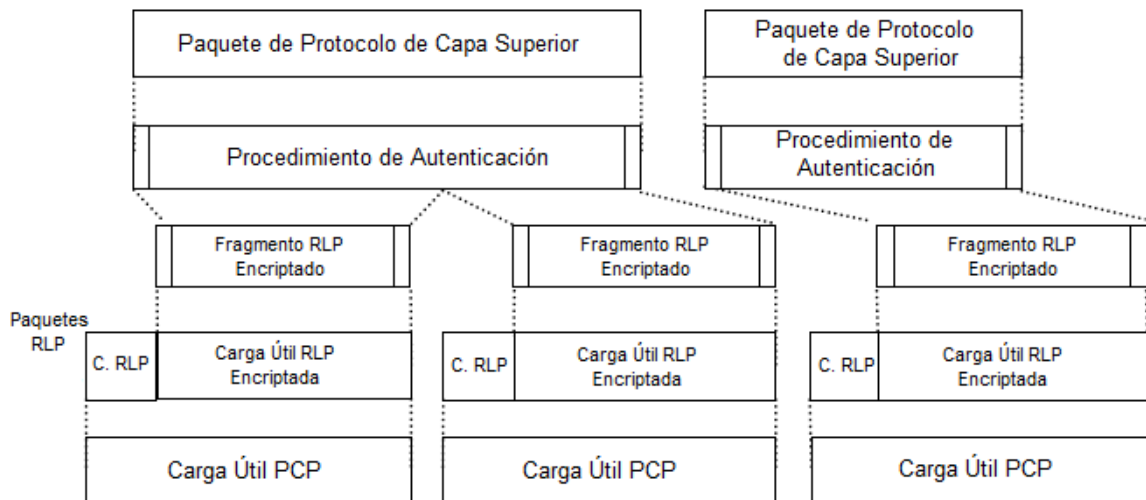
Por medio de sus tres protocolos, el transporte de Datos proporciona las siguientes funciones en el orden que se establece a continuación.

- Enrutamiento de los PDUs del protocolo de Flujo tanto sobre la Ruta A como sobre la Ruta B del Enlace de Flujo, enrutamiento proporcionado por el protocolo de Selección de Ruta.
- Retransmisión, en caso de ser necesaria, y detección duplicada de los paquetes de capa superior transmitidos en cada ruta. Esta función es llevada a cabo por el protocolo de Enlace de Radio.

- Control de flujo de los datos transportados, llevado a cabo por el protocolo de Control de Flujo.
- Adicionalmente el transporte de Datos tiene la habilidad para negociar los parámetros para todos los protocolos presentes en su funcionamiento.

El protocolo RLP es muy importante dentro del funcionamiento del transporte de Datos, ya que es el encargado de asegurar una transmisión confiable de los datos, permitiendo reducir significativamente la tasa de paquetes perdidos por medio de mecanismos de detección de errores y re-transmisiones en caso de ser necesarias. El protocolo RLP recibe los paquetes de los protocolos de capa superior y les agrega la cabecera RLP para formar los paquetes RLP, que posteriormente se convertirán en la carga útil del protocolo de Consolidación de Paquetes. Antes de llegar al protocolo de Enlace de Radio, los paquetes pueden pasar por un proceso de autenticación que permitirá que la carga útil del protocolo RLP sea encriptada.

La Figura 2.23 muestra la encapsulación realizada por el protocolo de Enlace de Radio[6].



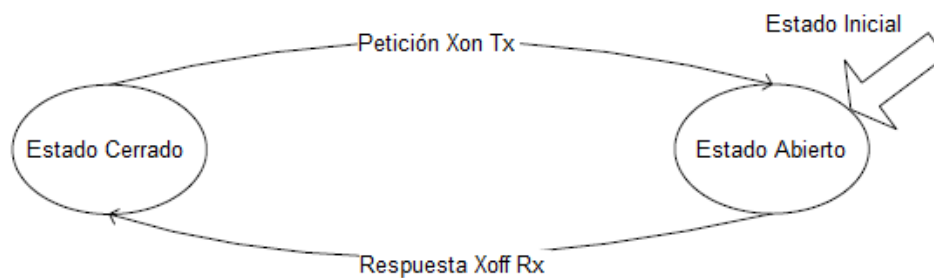
**Figura 2.23: Encapsulación del Protocolo de Enlace de Radio**

El protocolo de Control de Flujo proporciona los procedimientos y mensajes utilizados por el AT y la AN para llevar a cabo el control de flujo del enlace de bajada del transporte de Datos, es decir que realiza un control de flujo de todos los paquetes RLP que se transportan desde la AN al AT. La unidad de transmisión que maneja este protocolo es el mensaje, en este caso no se habla de paquetes, ya que al tratarse de un protocolo de

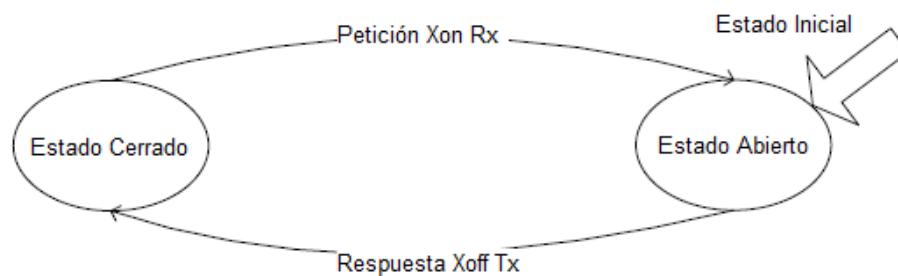
control no transporta una carga útil de datos en nombre de otras capas o protocolos, sino que solamente envía los mensajes necesarios para controlar su funcionamiento; y todos los mensajes del protocolo de Control de Flujo se aplican solamente a la instancia del transporte de Datos que está enviando y recibiendo el mensaje.

El protocolo de Control de Flujo puede funcionar únicamente en dos estados, el estado Cerrado en el cual el transporte de Datos para la red de acceso no envía ningún paquete RLP; y el estado Abierto, en el cual el transporte de Datos para la red de acceso puede enviar paquetes RLP.

Cuando se encuentra en el estado Cerrado el AT debe enviar un mensaje de petición cuando está listo para recibir paquetes RLP desde la AN. Cuando la AN recibe la petición debe enviar una respuesta dentro del periodo de tiempo establecido, para indicar la adecuada recepción del mensaje de petición, y posteriormente conmuta al estado Abierto. Una vez que el AT recibe la respuesta a su petición también conmuta al estado Abierto.



**Figura 2.24: Diagrama de Estados del Protocolo de Control de Flujo en el AT**



**Figura 2.25: Diagrama de Estados del Protocolo de Control de Flujo en la AN**

En el estado Abierto tanto el AT como la AN pueden enviar y recibir cualquier paquete RLP. Una vez establecido el estado Abierto, el AT debe enviar un mensaje de petición a la AN para detener la transmisión de paquetes RLP, y cuando se ha recibido la respuesta a esta petición por parte de la AN, el AT detiene el envío de paquetes y conmuta al estado Cerrado conjuntamente con la AN.

La Figura 2.24 y la Figura 2.25 muestran el diagrama de estados del protocolo de Control de Flujo en el AT y en la AN respectivamente[11].

### Protocolo de Consolidación de Paquetes

El Protocolo de Consolidación de Paquetes (PCP) añade la cabecera PCP a los paquetes de transporte antes de la transmisión, y después de la recepción remueve dicha cabecera y encamina los paquetes hacia el transporte correcto.

De manera más específica se puede decir que el protocolo PCP es el encargado de la multiplexación de transportes para un terminal de acceso. El protocolo PCP define en su cabecera un campo denominado Transporte, que es el encargado de mapear el paquete hacia el transporte al cual se debe encaminar; el protocolo tiene la capacidad de multiplexar hasta ocho transportes, tomando siempre en cuenta que el Transporte 0 está reservado para el transporte de Señalización. Los otros Transportes del protocolo PCP pueden ser asignados libremente a transportes con diferentes requerimientos de calidad de servicio (QoS).

Adicionalmente el protocolo de Consolidación de Paquetes permite priorizar las transmisiones y llevar a cabo la encapsulación de paquetes para la Subcapa de Convergencia. La encapsulación se realiza consolidando paquetes en el lado de la transmisión y demultiplexándolos en el lado de la recepción.

El protocolo coloca la cabecera delante de cada paquete de transporte y además los bits de relleno necesarios para crear paquetes de máxima longitud. La cabecera añadida para formar un paquete consolidado es de 16 bits por paquete de transporte y el relleno tiene una longitud de 8 bits, todos seteados en 0 e ignorados al momento de la recepción.

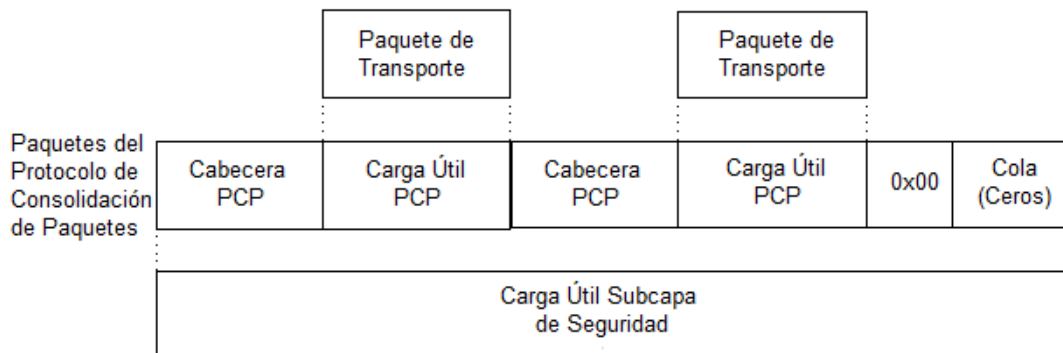


Figura 2.26: Encapsulación del Protocolo de Consolidación de Paquetes

La Figura 2.26 muestra la relación entre un paquete de transporte, que se convierte en la carga útil del protocolo de Consolidación de Paquetes, un paquete PCP; y la carga útil para la Subcapa de Seguridad, cuando el paquete de Consolidación contiene dos paquetes de transporte y los bits de relleno[11].

Los paquetes de transporte pueden ser recibidos desde hasta 8 transportes diferentes, y todos los paquetes transmitidos son enviados en forma de octetos a la Subcapa de Seguridad. El protocolo recibe los paquetes PCP desde la Subcapa de Seguridad y remueve la cabecera para recuperar los paquetes de transporte y encaminarlos de acuerdo al Transporte especificado en la cabecera.

La longitud máxima de los paquetes de transporte que el protocolo puede encapsular depende del canal de Capa Física a través del cual el paquete será transmitido y de los protocolos de seguridad negociados.

Con cada paquete de transporte transmitido el protocolo recibe la siguiente información:

- Canal de destino: Este parámetro indica el canal de destino por medio del cual el paquete será transmitido.
- Prioridad: Determina la prioridad con la cual se realizará la transmisión de cada uno de los paquetes a ser enviados.
- Encapsulación individual forzada: Este parámetro indica si un paquete de transporte debe o no ser encapsulado junto con otros paquetes en el mismo paquete PCP. Si un paquete de transporte de un canal de tráfico de bajada está marcado con una encapsulación individual forzada, la AN debe encapsularlo sin ningún otro paquete dentro del paquete PCP que lo contenga. Adicionalmente el protocolo debe informarle a la Capa Física con el objetivo de asegurar que el paquete de Capa Física que contenga este paquete PCP no contenga ningún otro paquete. La encapsulación individual forzada es utilizada para realizar pruebas de servicios que requieren un mapeo uno a uno entre los paquetes de transporte y los paquetes de Capa Física[11].

### 2.1.2.3. Subcapa de Control de Seguridad

La Subcapa de Control de Seguridad es la encargada de administrar los procedimientos de seguridad utilizados por los sistemas MBWA. Para asegurar la seguridad esta Subcapa

lleva a cabo la función de Intercambio de Claves que es la encargada de proporcionar los procedimientos que siguen tanto la red como la terminal de acceso para el intercambio seguro de claves utilizadas para autenticación y encriptación.

La Subcapa de Control de Seguridad utiliza un solo protocolo no portador para desarrollar sus funciones, y es el Protocolo de Intercambio de Claves.

### **Protocolo de Intercambio de Claves**

El protocolo de Intercambio de Claves proporciona un método para la generación simultánea de claves de sesión en el terminal de acceso y en la red de acceso. La clave de sesión se deriva de una Clave Maestra por Parejas o *Pairwise Master Key* (PMK) que es negociada por protocolos de capa superior y que se asume como disponible tanto en el AT como en la AN. Este protocolo puede soportar múltiples claves PMK.

La clave de sesión es utilizada para derivar la Clave MIC, la Clave de Autenticación y la Clave de Encriptación. La clave MIC es utilizada para verificar el intercambio de mensajes de cuatro vías utilizado por el protocolo, y las otras dos claves son utilizadas para la autenticación y encriptación de paquetes respectivamente.

El protocolo de Intercambio de Claves también proporciona métodos y mensajes para cambiar la clave de sesión luego de que ha sido establecida.

El protocolo de Intercambio de Claves utiliza cuatro tipos de mensajes para derivar claves de sesión secretas, verificar que el AT y la AN hayan derivado las mismas claves de sesión, y para intercambiar capacidades de seguridad. Los cuatro tipos de mensajes que se utilizan son mensajes de Petición de Clave, de Respuesta de Clave, de Clave Completa para la AN y de Clave Completa para el AT.

Este protocolo es capaz también de intercambiar la clave de sesión que está siendo utilizada por otra clave que haya sido previamente derivada a partir de PMK. Este proceso es realizado utilizando el bit de Cambio de Clave incluido en la cabecera MAC, así como también los mensajes Petición y ACK de Cambio de Clave[6].

El flujo de mensajes que el protocolo de Intercambio de Claves utiliza para establecer la clave de sesión se muestra en la Figura 2.27 y el flujo de mensajes necesario para ejecutar el cambio de clave se muestra en la Figura 2.28.



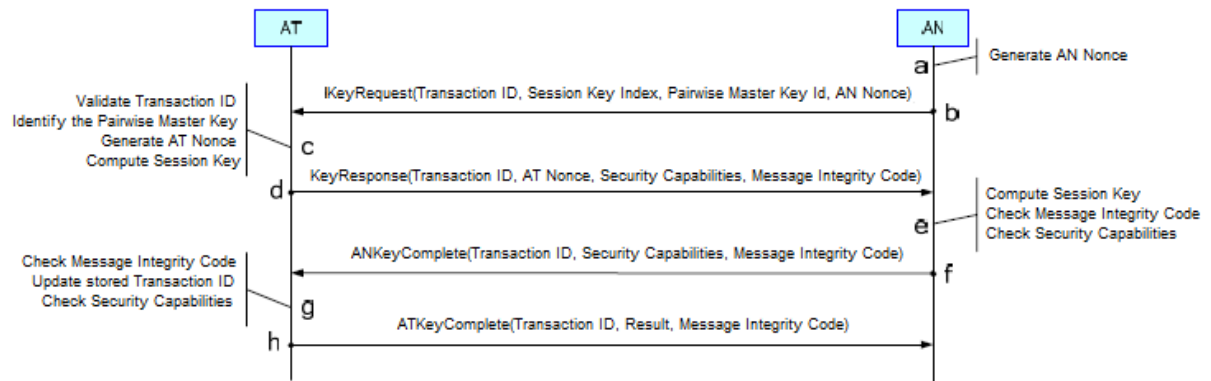


Figura 2.27: Flujo de mensajes del Protocolo de Intercambio de Claves

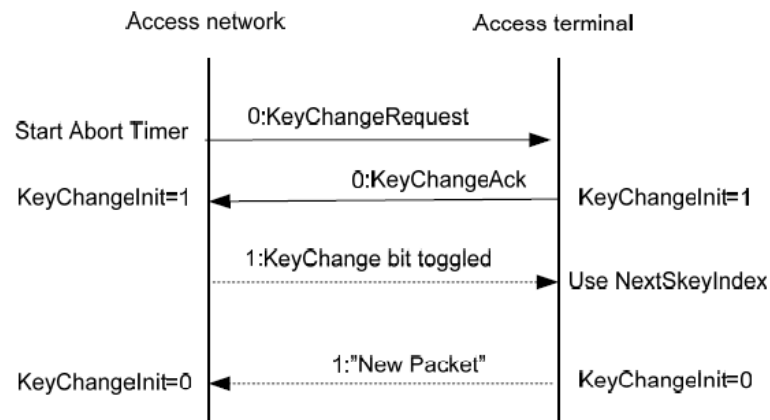


Figura 2.28: Flujo de mensajes para el intercambio de clave

El cambio de claves puede ser negociado por el AT y la AN. Las líneas continuas muestran los mensajes intercambiados entre los pares que se están comunicando. El valor del bit de Cambio de Clave se asume en valor 0.

Las líneas punteadas muestran mensajes que no están relacionados con el protocolo de Intercambio de Mensajes; estos mensajes muestran el intercambio regular de paquetes después de que el bit de Cambio de Clave conmuta y por tanto el cambio de clave es ejecutado[11].

#### 2.1.2.4. Subcapa de Seguridad

De manera general la Subcapa de Seguridad tiene la responsabilidad de llevar a cabo las siguientes funciones:

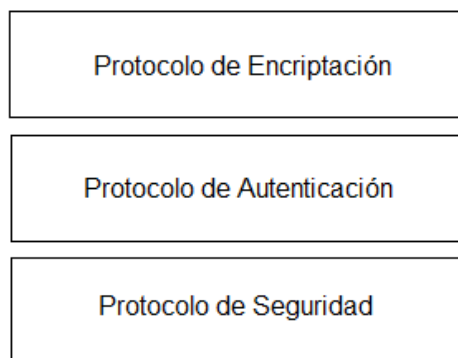
- **Generación de *Cryptosync***: Proporciona el *Cryptosync* necesario para los proto-

colos de Autenticación y Encriptación.

- **Autenticación:** Proporciona los procedimientos seguidos por el AT y la AN para la autenticación de tráfico.
- **Encriptación:** Proporciona los procedimientos seguidos por el AT y la AN para la encriptación de tráfico.

Para llevar a cabo estas tres funciones principales la Subcapa de Seguridad utiliza tres protocolos portadores, cada uno de los cuales lleva a cabo una función que resulta complementaria para las otras dos. La generación del *Cryptosync* está a cargo del protocolo de Seguridad y es utilizado para la posterior autenticación y encriptación a cargo de los protocolos respectivos.

La Figura 2.29 ilustra la relación existente entre los protocolos de la Subcapa de Seguridad.



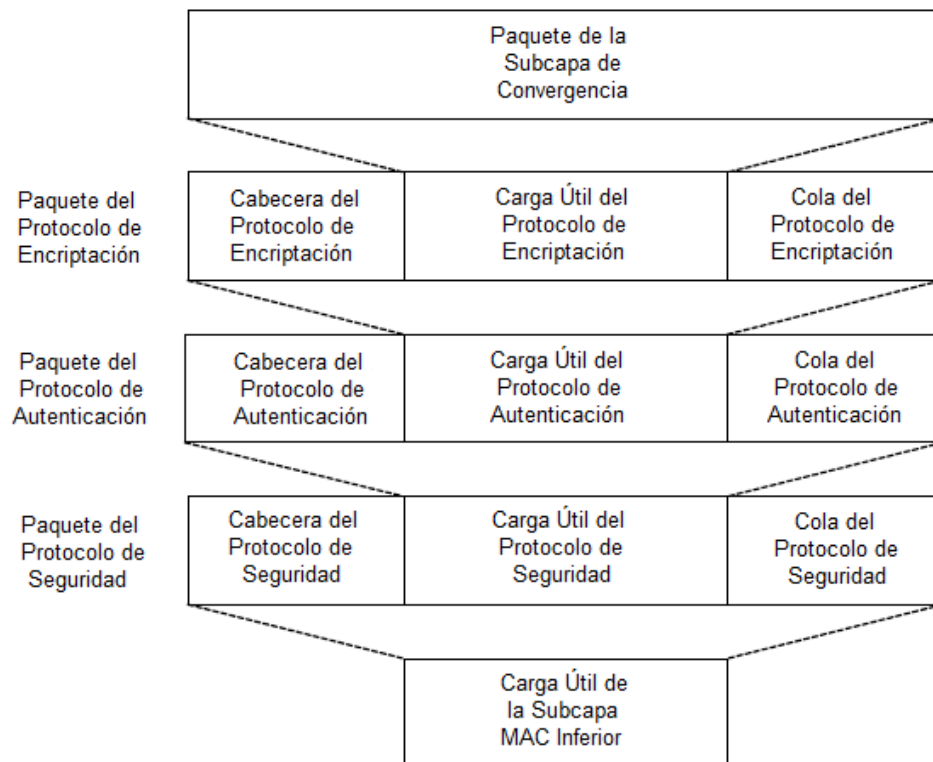
**Figura 2.29: Protocolos de la Subcapa de Seguridad**

Cuando se realiza una transmisión, la Subcapa de Seguridad recibe un paquete de la Subcapa de Convergencia acompañado por un campo *IsSecure*, el mismo que es el encargado de indicar si el paquete recibido va a pasar por el proceso de seguridad o no. La Subcapa de Seguridad procesa este paquete y entrega la carga útil para la Subcapa MAC Inferior, acompañada por el mismo campo *IsSecure*.

En la recepción la Subcapa de Seguridad recibe un paquete de la Subcapa MAC Inferior acompañado por el campo *IsSecure*; la Subcapa de Seguridad procesa este paquete y entrega un paquete de Subcapa de Convergencia acompañado por el campo *IsSecure* a dicha subcapa.

La encapsulación para la Subcapa de Seguridad opera en dos modos diferentes, el modo seguro que funciona cuando *IsSecure* está configurado en 1 y el modo inseguro de paquetes que funciona cuando *IsSecure* contiene un 0, tal como se explica a continuación.

Como puede observarse en la Figura 2.30, cuando el campo *IsSecure* está seteado en 1, la Subcapa de Seguridad lleva a cabo todos los procedimientos de autenticación y encriptación para garantizar la seguridad del tráfico que se transmite y se recibe entre la AN y el AT. El orden de la autenticación y la encriptación está dado de esa manera para poder evitar una desencriptación innecesaria en caso de que el proceso de autenticación falle.



**Figura 2.30:** Encapsulación de datos en la Subcapa de Convergencia para *IsSecure*=1

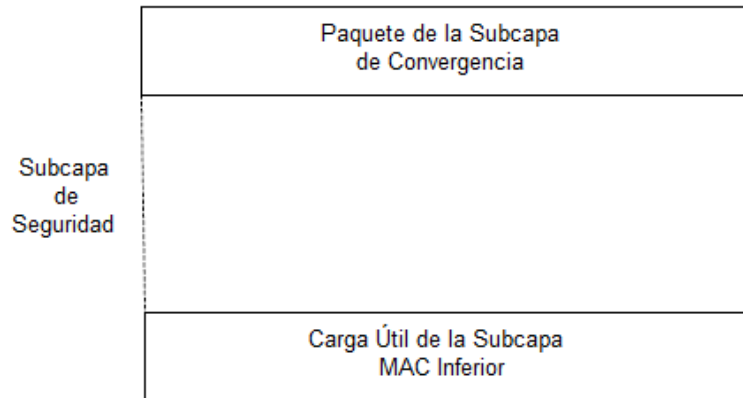
Las cabeceras o colas de la Subcapa de Seguridad pueden o no estar presentes si el Token de Configuración de Sesión especifica el Protocolo de Seguridad o si los protocolos de Seguridad configurados no requieren ni de cabeceras ni de colas.

El Protocolo de Encriptación puede añadir una cola para esconder la longitud real del texto plano, es decir de los datos sin encriptar, o puede añadir bits de relleno que serán utilizados en el algoritmo de encriptación. La cabecera del Protocolo de Encriptación puede contener variables como por ejemplo el vector de inicialización utilizado por el protocolo.

La cabecera o cola del Protocolo de Autenticación pueden contener el Código del Mensaje de Autenticación que es usado para verificar la parte del paquete de protocolo que está autenticada.

La cabecera o cola del Protocolo de Seguridad pueden contener variables necesarias para el funcionamiento de los protocolos de autenticación y encriptación, como por ejemplo, el *Cryptosync*.

La Figura 2.31 muestra la encapsulación de los datos en la Subcapa de Seguridad cuando el campo *IsSecure* está configurado en 0. En este caso el paquete recibido de la Subcapa de Convergencia no pasa a través de los protocolos de Seguridad, Autenticación ni Encriptación; es decir que la Subcapa de Seguridad no realiza ningún procedimiento y los paquetes de la Subcapa de Convergencia pasan exactamente iguales a ser la carga útil de la Subcapa MAC Inferior[11].



**Figura 2.31:** Encapsulación de datos en la Subcapa de Convergencia para *IsSecure=0*

### **Procedimiento de transmisión de datos en la Subcapa de Seguridad**

Como se mencionó anteriormente, cuando un paquete de la Subcapa de Convergencia con *IsSecure = 0* es entregado a la Subcapa de Seguridad, esta lo transmite sin modificaciones para que se convierta en la carga útil de la Subcapa MAC Inferior; y cuando un paquete de la Subcapa de Convergencia tiene un *IsSecure = 1* y es recibido en la Subcapa de Seguridad, los protocolos de dicha subcapa llevan a cabo los siguientes procedimientos:

- El Protocolo de Seguridad genera un *Cryptosync* para el canal para el cual está destinado el paquete de Subcapa de Convergencia.
- El paquete de Subcapa de Convergencia y el *Cryptosync* son entregados al Protocolo

de Encriptación, el mismo que utiliza el *Cryptosync*, la clave de encriptación, y otros parámetros especificados por el protocolo para encriptar el paquete de la Subcapa de Convergencia y construir el paquete del Protocolo de Encriptación.

- El Protocolo de Encriptación entrega el paquete construido y el *Cryptosync* al Protocolo de Autenticación.
- El Protocolo de Autenticación utiliza el *Cryptosync*, la clave de autenticación, y otros parámetros especificados por el protocolo para construir el paquete del Protocolo de Autenticación.
- El Protocolo de Autenticación entrega el paquete de la Subcapa de Seguridad al protocolo de Seguridad, el mismo que posteriormente lo entrega junto con otros parámetros a la Subcapa MAC Inferior[11].

### **Procedimiento de recepción de datos en la Subcapa de Seguridad**

Cuando una carga útil de datos de la Subcapa MAC Inferior con el campo *IsSecure* = 0 es entregado a la Subcapa de Seguridad, esta la convierte en el paquete de Subcapa de Convergencia sin realizar ningún cambio; por el contrario si la Subcapa de Seguridad recibe la carga útil de datos con un *IsSecure* = 1, lleva a cabo el siguiente procedimiento:

- El Protocolo de Seguridad construye el *Cryptosync* utilizando información de la Subcapa MAC Inferior y de las cabeceras y colas de los protocolos de la Subcapa de Seguridad.
- El Protocolo de Seguridad remueve la cabecera y la cola añadidas por el mismo protocolo en la transmisión y envía el *Cryptosync* y la carga útil del Protocolo de Seguridad hacia el Protocolo de Autenticación.
- El Protocolo de Autenticación utiliza el *Cryptosync*, la clave de autenticación, la carga útil, cabeceras y colas del protocolo, para verificar la firma de autenticación. Si la firma de autenticación es válida el Protocolo de Autenticación entrega su carga útil al Protocolo de Encriptación; en caso contrario el paquete es descartado.
- El Protocolo de Encriptación utiliza el *Cryptosync* y la clave de encriptación para descifrar el paquete de este protocolo. La carga útil de datos descifrada es entregada entonces a la Subcapa de Convergencia[11].

## Protocolo de Encriptación

En un sistema MBWA *Wideband* existen en realidad dos tipos de protocolos de Encriptación, el Protocolo de Encriptación por Defecto y el Protocolo de Encriptación Genérico.

El Protocolo de Encriptación por Defecto no altera ni modifica la carga útil del paquete de la Subcapa de Convergencia y tampoco le añade cabeceras ni colas a dicho paquete. La función de este protocolo es simplemente la de transferir paquetes entre el Protocolo de Autenticación y el Protocolo de Seguridad.

En el lado de la transmisión este protocolo debe recibir un paquete de la Subcapa de Convergencia y reenviarlo hacia el Protocolo de Autenticación; mientras que en el lado de la recepción el protocolo recibe un paquete del Protocolo de Autenticación y lo reenvía a la Subcapa de Convergencia.

El Protocolo de Encriptación Genérico utiliza los procedimientos AES con el objetivo de encriptar los paquetes de la Subcapa de Convergencia y desencriptar los paquetes del Protocolo de Autenticación[6][11].

A pesar de que el estudio del funcionamiento del algoritmo de encriptación AES se encuentra fuera del alcance del presente proyecto, una descripción más detallada del algoritmo se realizará posteriormente en la Sección de Seguridad.

## Protocolo de Seguridad

El Protocolo de Seguridad es el encargado de llevar a cabo los procedimientos para iniciar un modo seguro de operación, en el cual el terminal de acceso y la red de acceso puedan obtener de manera segura todos los paquetes de *unicast* transmitidos por medio de la interfaz de aire.

En el lado de transmisión este protocolo genera el *Cryptosync* basado en la información que recibe de la Subcapa MAC Inferior y adicionalmente hace que el *Cryptosync* sea público para todos los protocolos que necesitan tener conocimiento de él. El *Cryptosync* puede ser utilizado en la negociación que se realiza entre el protocolo de Autenticación y el protocolo de Encriptación.

Cuando se realiza una transmisión este protocolo es el encargado de transferir paquetes desde el protocolo de Autenticación hacia la Subcapa MAC Inferior. Una vez recibido un paquete del protocolo de Autenticación, el primer paso es construir un paquete de Subcapa de Seguridad añadiendo las cabeceras del protocolo de Seguridad; posteriormente se computa el *Cryptosync* asociado con el paquete y finalmente se entrega el paquete a la Subcapa MAC Inferior.

En el lado de la recepción el protocolo realiza exactamente el mismo procedimiento descrito para la transmisión, solamente que la transferencia de paquetes se realiza en sentido contrario, es decir que se transfiere paquetes desde la Subcapa MAC Inferior hacia el protocolo de Autenticación; o sea que cuando se recibe un paquete de la Subcapa MAC Inferior inicialmente se remueve las cabeceras del protocolo de Seguridad para construir el paquete del protocolo de Autenticación, posteriormente se computa el *Cryptosync* asociado con el paquete y se entrega el paquete de protocolo de Autenticación junto con el valor computado del *Cryptosync* al protocolo de Autenticación.

El protocolo de Seguridad es configurable, es decir que permite definir si el modo de seguridad se habilitará o no en una comunicación. Para esto utiliza el atributo de configuración *SecurityEnabled*, el mismo que debe ser definido por el *Token* de Configuración de Sesión del protocolo con el mismo nombre. Cuando el atributo se encuentra configurado en cero el modo de seguridad está desactivado, y cuando el atributo está configurado en uno el modo de seguridad se encuentra activado[11].

### **Protocolo de Autenticación**

El Protocolo de Autenticación proporciona la función de autenticación de paquetes por medio de la aplicación, en el lado de la transmisión; y de la verificación, en el lado de la recepción, de la función de mensajes de autenticación HMAC-SHA256. La función HMAC-SHA256 está definida en la norma RFC 2104, y la descripción de su funcionamiento se encuentra fuera del alcance del presente estudio[8].

En el proceso de transmisión, cuando este protocolo recibe un paquete del protocolo de Encriptación, debe agregar la cabecera del protocolo de Autenticación y posteriormente transmitir el recientemente formado paquete del protocolo de Autenticación hacia el protocolo de Seguridad.

En el proceso de recepción, cuando este protocolo recibe un paquete de Subcapa de Seguridad desde el protocolo de Seguridad, debe verificar el código de autenticación de mensaje en la cabecera del protocolo de Autenticación. Si el código de autenticación es válido, el protocolo remueve su respectiva cabecera y a continuación procede a enviar el paquete formado hacia el protocolo de Encriptación.

Cuando se recibe un paquete del protocolo de Encriptación, este protocolo debe generar el código de autenticación para dicho paquete antes de proceder con su reenvío. Luego de que el paquete ha sido transmitido y llega a su destino, en el receptor, el protocolo de Autenticación es el encargado de computar el PAC o Código de Autenticación de Paquete.

Si el PAC computado previamente coincide con el campo PAC en la cabecera del protocolo, entonces se hace el envío de la carga útil de este protocolo hacia el protocolo de Encriptación; en caso contrario, se indica una falla en el proceso de autenticación y se descarta el paquete de la Subcapa de Seguridad.

El PAC es un campo de la cabecera del protocolo de Autenticación que define el código utilizado para autenticar un paquete en la Subcapa de Seguridad. Este campo además de contener el código de autenticación, contiene un bit que interviene en la elección del modo de autenticación.

Existen dos modos de autenticación, uno en el cual la autenticación se realiza para todos los paquetes, solamente verificando la condición de que el bit *IsSecure* de la cabecera de la Subcapa MAC Inferior sea igual a uno. El otro modo de autenticación verifica además del bit *IsSecure*, el bit contenido en el PAC, y si ambos son igual a uno, entonces se realiza la autenticación del paquete que los contiene[11].

#### **2.1.2.5. Subcapa de Control MAC Inferior**

La Subcapa de Control MAC Inferior controla el estado del enlace de aire por medio de la gestión de los estados en los protocolos individuales de la subcapa MAC Inferior.

Los protocolos presentes en esta subcapa son de control, por lo que no transportan datos en nombre de otros protocolos; y por tanto, por tratarse de protocolos de control, utilizan el Transporte de Señalización para transmitir y recibir mensajes. Solamente el Protocolo de Mensajes de *Overhead* realiza el envío de algunos bloques de información utilizando la Subcapa MAC Inferior.



El terminal de acceso y la red de acceso mantienen una conexión de cuyo estado depende la forma en la cual se lleva a cabo la comunicación entre estas dos entidades en el sistema. Esta conexión puede adoptar tres estados diferentes, los mismos que se detallan a continuación.

- **Conexión Cerrada sin asignación de MAC ID:** En este estado al AT no se le asigna ningún recurso dedicado sobre la interfaz de aire. Las comunicaciones entre el AT y la AN son conducidos a través de algunos canales de control de la capa física.
- **Conexión Cerrada con asignación de MAC ID:** Este es un estado intermedio entre la conexión cerrada y la conexión abierta. A pesar que la conexión aún se encuentra cerrada, al AT ya se le asigna un MAC ID y se lo asocia con sus propios recursos en los enlaces de subida y de bajada. Estos recursos son utilizados por el AT para solicitar el establecimiento de una conexión, y por la AN para responder con una aceptación o rechazo a dicha petición; la respuesta que la AN entrega a la petición de conexión se basa principalmente en la identidad del AT que la solicita.
- **Conexión Abierta con asignación de MAC ID:** La apertura de la conexión indica que la AN ha concedido recursos dedicados en los enlaces de subida y de bajada, basada en la identidad del AT.

La Subcapa de Control MAC Inferior es fundamental para garantizar el correcto funcionamiento de un sistema MBWA *Wideband*, debido a que desempeña varias funciones que permiten el adecuado establecimiento y mantenimiento de las conexiones entre el AT y la AN. Entre sus principales funciones relacionadas con la conexión se tienen:

- Gestionar la adquisición inicial de la red.
- Gestionar la apertura y cierre de conexiones.
- Mantener una localización aproximada del AT en cualquiera de los estados de conexión.
- Gestionar el enlace de radio entre el AT y la AN cuando una conexión se encuentra abierta.
- Llevar a cabo la supervisión del AT tanto cuando la conexión se encuentra abierta como cuando se encuentra cerrada.

Para desarrollar todas estas funciones, la Subcapa de Control MAC Inferior utiliza ciertos protocolos de control o no portadores, los mismos que realizan funciones específicas orientadas de manera general a la gestión y mantenimiento del enlace de aire y de las conexiones entre AT y AN.

Los protocolos que operan sobre la Subcapa MAC Inferior se listan a continuación, y posteriormente se describirán más detalladamente en las secciones subsiguientes[11].

- Protocolo de Gestión de Enlace de Aire
- Protocolo de Estado de Inicialización
- Protocolo de Estado Suspendido
- Protocolo de Estado Conectado
- Protocolo de Gestión de *Active Set*
- Protocolo de Mensajes de *Overhead*

### **Protocolo de Gestión de Enlace de Aire**

Proporciona la gestión para el conjunto completo de estados por los que el AT y la AN pasan durante una conexión. El protocolo puede encontrarse en tres estados diferentes, relacionados con el estado que tiene el AT en el establecimiento de la conexión.

Si el AT aún no ha adquirido una red, es decir que no se ha conectado a ninguna, entonces se encuentra en estado de Inicialización. Si el AT ya ha adquirido una red, pero la conexión entre ambos se encuentra cerrada, entonces el protocolo se encuentra en estado Suspendido; y si el AT y la AN ya mantienen una conexión abierta, entonces el protocolo se encuentra en estado Conectado.

Existen protocolos encargados de manejar cada uno de los tres estados durante una conexión. Cada protocolo lleva el nombre correspondiente a su estado y es activado por el protocolo de Gestión de Enlace en función del estado en el que este se encuentre[8].

Las funciones principales del protocolo de Gestión de Enlace de Aire son las siguientes:

- Generar las reglas para el estado del dispositivo y la transición de estados, reglas que serán seguidas por el AT y la AN para la Subcapa de Control MAC Inferior.

- Activar y desactivar los protocolos de la Subcapa de Control MAC Inferior aplicables para cada estado del protocolo.
- Responder a las indicaciones de falla de supervisión que se reciben desde otros protocolos.
- Asociar las transiciones de estado de los protocolos de la Subcapa MAC Inferior y de los protocolos de la Subcapa de Control MAC Inferior.
- Proporcionar el mecanismo por medio del cual la AN puede re-direccionar al AT hacia otra red distinta.

El comportamiento real y el intercambio de mensajes en cada uno de los estados es manejado por los protocolos que son activados por el protocolo de Gestión de Enlace de Aire. Estos protocolos retornan indicaciones, las mismas que desencadenan la transición de estados del protocolo de Gestión, y adicionalmente comparten datos entre ellos de una manera controlada.

Como se mencionó anteriormente, el protocolo de Gestión de Enlace de Aire tiene tres estados de funcionamiento, los mismos que están relacionados con los estados que adoptan el AT y la AN durante el establecimiento y mantenimiento de una conexión. Cada estado se establece de manera independiente en el AT y en la AN, aunque obviamente el estado del protocolo en la AN tiene estrecha relación con el estado en el AT.

La Figura 2.32 muestra una visión general de los estados que se establecen en el AT, así como también de las transiciones entre dichos estados.

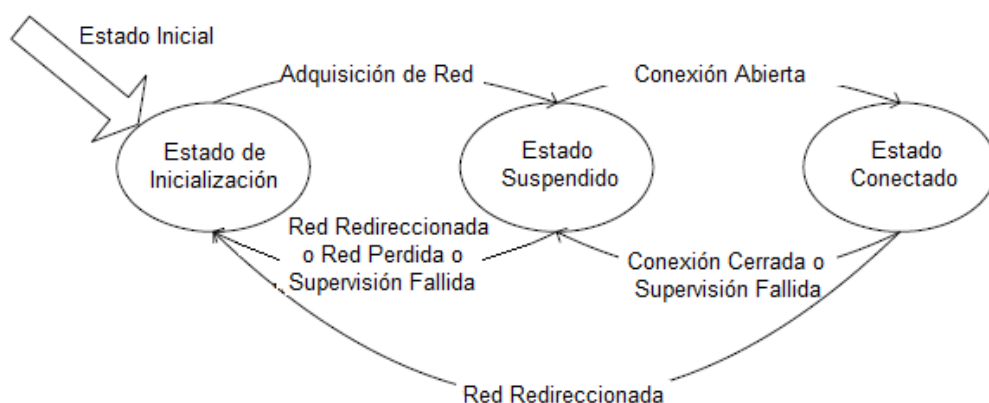
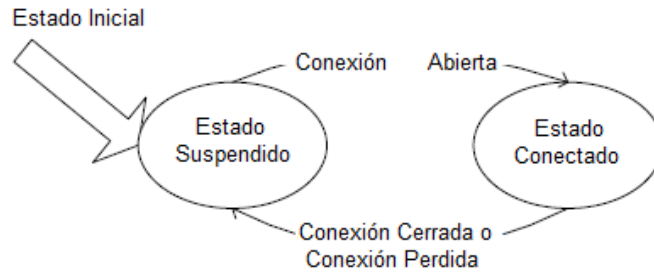


Figura 2.32: Diagrama de Estados del Protocolo de Gestión de Enlace de Aire en el AT

Como puede observarse en la Figura 2.32 el estado inicial del protocolo en el AT es el de Inicialización, en el cual el AT adquiere una AN para conectarse con ella. En esta instancia, el protocolo de Gestión activa al Protocolo de Estado de Inicialización para ejecutar los procedimientos pertinentes para este estado. El estado de Inicialización solamente es soportado en el AT, mientras que en la AN el protocolo solamente adopta los otros dos estados, tal como se muestra en la Figura 2.33.



**Figura 2.33: Diagrama de Estados del Protocolo de Gestión de Enlace de Aire en la AN**

Estos dos estados del protocolo son exactamente iguales en el AT y en la AN y tienen el mismo funcionamiento.

El estado Suspendido es el estado inicial en la AN y el segundo estado en el AT. En este estado la conexión se encuentra cerrada a pesar de que el AT ya ha adquirido una AN. En esta instancia el protocolo de Gestión activa el protocolo de Estado Suspendido para que se encargue de ejecutar los procedimientos pertinentes para este estado. Para pasar del estado Suspendido al estado Conectado se envía una indicación de Conexión Abierta, y para regresar del estado Conectado al Suspendido, se envía una indicación de conexión cerrada o de falla en la conexión.

En cuanto al estado Conectado, es el que se establece en cuanto la conexión ha sido abierta entre el AT y la AN. Al igual que en los estados anteriores, el protocolo de Gestión activa el protocolo de Estado Conectado para llevar a cabo los procesos adecuados. En el caso del AT desde el estado Conectado se puede también pasar directamente al estado de Inicialización, transición que se lleva a cabo cuando se produce un re-direccionamiento de la red, tal como se indica en la Figura 2.32.

A continuación, en la Tabla 2.2, se muestra un resumen de los protocolos de las Subcapas de Control MAC Inferior y MAC Inferior que se encuentran activos en cada uno de los estados[11].

**Tabla 2.2: Protocolos Activos por estado del Protocolo de Gestión de Enlace de Aire**

<b>Estado de Inicialización</b>	<b>Estado Suspendido</b>	<b>Estado Conectado</b>
Protocolo de Mensajes de <i>Overhead</i>	Protocolo de Mensajes de <i>Overhead</i>	Protocolo de Mensajes de <i>Overhead</i>
Protocolo de Inicialización de Estado	Protocolo de Estado Inactivo	Protocolo de Estado Conectado
Protocolo MAC de Canal de Control	Protocolo de Gestión de <i>Active Set</i>	Protocolo de Gestión de <i>Active Set</i>
	Protocolo MAC de Canal de Control	Protocolo MAC de Canal de Control
	Protocolo MAC de Señalización Compartida	Protocolo MAC de Señalización Compartida
	Protocolo MAC de Canal de Tráfico <i>Downlink</i>	Protocolo MAC de Canal de Tráfico <i>Downlink</i>
	Protocolo MAC de Canal de Acceso	Protocolo MAC de Canal de Acceso
	Protocolo MAC de Canal de Tráfico <i>Uplink</i>	Protocolo MAC de Canal de Tráfico <i>Uplink</i>
	Protocolo MAC de Canal de Control <i>Uplink</i>	Protocolo MAC de Canal de Control <i>Uplink</i>

### Protocolo de Estado Suspendido

El Protocolo de Estado Suspendido proporciona los procedimientos y mensajes utilizados por el terminal de acceso y la red de acceso cuando el AT ha adquirido una red, pero sin que exista una conexión abierta. Este protocolo es activado por el protocolo de Gestión de Enlace de Aire; y al igual que este, opera en varios estados, cada uno de los cuales tiene sus propias funcionalidades y características. Los cinco estados de operación del protocolo de Estado Suspendido son:

- **Estado Inactivo:** En este estado el protocolo espera por un comando de Activación, el mismo que indica que es posible realizar un cambio de estado.
- **Estado de Hibernación:** En este estado el AT puede cerrar o apagar parte de sus subsistemas para conservar energía. El AT en este estado no monitoriza ningún canal de bajada, y por tanto la AN no está autorizada para transmitir ningún paquete de *Unicast* hacia él.
- **Estado de Monitorización:** En este estado el AT se encuentra en la escucha de Páginas o *Pages* y si es necesario, actualiza los parámetros recibidos del protocolo

de Mensajes de *Overhead*. Paralelamente en este estado, la AN puede transmitir paquetes *Unicast* hacia el AT.

- **Estado de Acceso:** En el estado de Acceso el AT envía preámbulos de acceso a la AN y recibe por parte de esta una concesión de acceso para su petición. El estado de Acceso está definido solamente para el AT, sobreentendiéndose que la AN dispone solamente de los otros cuatro estados.
- **Estado de Enlace UATI:** Cuando se establece el estado de Enlace UATI el AT envía un identificador UATI hacia la AN y espera por un *acknowledgement* en forma de una indicación de UATI Recibida o un mensaje de Respuesta de Conexión Abierta. En este estado, la AN envía hacia el AT un paquete con el campo *UATI Info Included* de la cabecera MAC seteado a uno; campo que indica que el AT se ha enlazado con la AN por medio de su identificador UATI, tal como indica su nombre precisamente.

El protocolo de Estado Suspendido realiza periódicamente monitorizaciones de la red por medio del AT, haciendo posible con esto un significativo ahorro de energía. Además de los estados citados anteriormente este protocolo dispone de varios modos de operación de acuerdo a las funciones que tiene que desempeñar. Los modos de operación soportados son los siguientes.

- **Modo de Operación Continua:** En el cual el AT continuamente monitoriza el canal de control.
- **Modo de Operación Suspendido:** En este modo de operación el AT monitoriza continuamente el canal de control pero solamente por un periodo de tiempo luego del cual pasa a operar en el modo Ranurado. El modo Suspendido continúa su operación en el estado Conectado del protocolo de Gestión de Enlace de Aire y por lo tanto hace posible que se realicen re-conexiones rápidas con redes ya iniciadas.
- **Modo de Operación Ranurado:** En el modo de operación Ranurado o *Slotted* el AT monitoriza solamente algunas super tramas seleccionadas e hiberna en el medio de las mismas; es decir que luego de monitorizar una super trama y antes de monitorizar la siguiente, el AT se encuentra en estado de Hibernación. Este modo soporta además una operación escalonada, lo cual significa que el intervalo de tiempo entre las super tramas monitorizadas por el AT incrementa con el tiempo.

El protocolo de Estado Suspendido permite además llevar a cabo la configuración de la conexión por medio del procedimiento que se describe inmediatamente, procedimiento que siempre es iniciado por el AT.

Inicialmente el AT envía un preámbulo de acceso hacia la AN, la misma que responde con el envío de un mensaje de aceptación de acceso. Una vez que ha recibido la aceptación de acceso, el AT, envía un paquete con el identificador UATI contenido en la cabecera MAC y con el mensaje de Petición de Apertura de Conexión contenido en el *payload* o carga útil; envío que es respondido por la AN con otro paquete en el cual se envía el identificador UATI en la cabecera MAC y el mensaje de Respuesta de Conexión Abierta junto con la carga útil.

Para el intercambio de mensajes se utilizan los canales de control y señalización, y para el envío de paquetes el AT utiliza el canal de datos de subida y la AN el canal de datos de bajada[11].

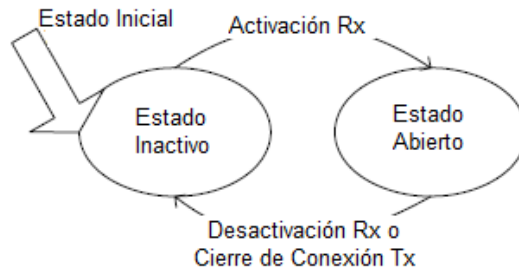
### Protocolo de Estado Conectado

El Protocolo de Estado Conectado define los procedimientos y mensajes utilizados por el terminal de acceso y la red de acceso mientras una conexión se encuentra abierta.

De manera similar a los dos protocolos de la Subcapa de Control MAC Inferior analizados anteriormente, este protocolo puede operar en tres estados diferentes: Estado Inactivo, Estado Abierto y Estado Cerrado.

- **Estado Inactivo:** Cuando se encuentra en este estado el protocolo espera por un comando de activación para pasar al estado abierto.
- **Estado Abierto:** Una vez establecido el estado Abierto el AT puede utilizar el canal de tráfico de subida y la AN puede utilizar el canal de tráfico de bajada y el canal de control para enviar el tráfico de la aplicación.
- **Estado Cerrado:** El estado Cerrado está asociado solamente con la AN, la misma que espera por recursos de conexión que tienen que ser asignados para que el estado sea liberado de manera segura.

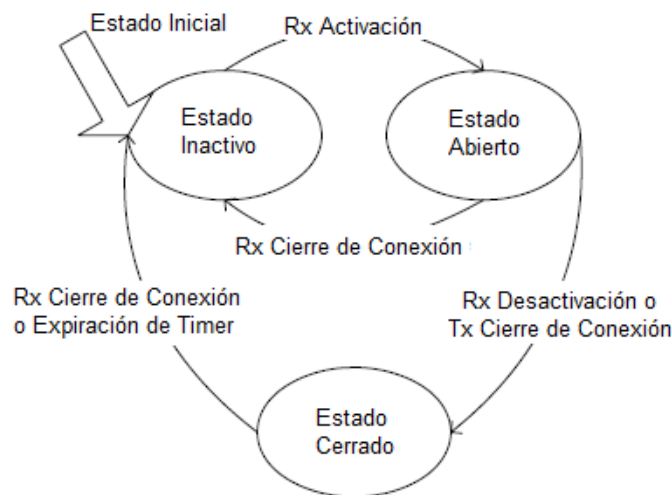
La Figura 2.34 muestra el diagrama de estados y transiciones del protocolo de Estado Conectado en el AT.



**Figura 2.34: Diagrama de Estados del Protocolo de Estado Conectado en el AT**

El estado inicial en el AT es el estado Inactivo, en el cual espera por un comando de Activación para conmutar al estado Abierto. Una vez establecido el estado Abierto, existen dos formas para que el AT retorne al estado Inactivo, cuando recibe un comando de Desactivación o después de enviar un mensaje de Conexión Cerrada.

La Figura 2.35 ilustra el diagrama de estados y transiciones del protocolo de Estado Conectado en la AN.



**Figura 2.35: Diagrama de Estados del Protocolo de Estado Conectado en la AN**

En la Figura 2.35 se puede observar que el estado inicial de la AN es el estado Inactivo, del cual sale para conmutar al estado Abierto por medio de la indicación de un comando de Activación. Cuando se encuentra en el estado Abierto puede regresar nuevamente al estado Inactivo si recibe un mensaje de Conexión Cerrada, o puede pasar al estado Cerrado si recibe un comando de Desactivación o luego de enviar un mensaje de Conexión Cerrada. Finalmente en el estado Cerrado se mantiene hasta recibir un mensaje de Cierre de Conexión, mensaje que le indica a la AN que puede conmutar al estado Inactivo.



## Procedimiento *Tune Away*

*Tune Away* es un procedimiento que el protocolo lleva a cabo en el estado Conectado, y que define un conjunto repetitivo de periodos de tiempo durante los cuales el AT y la AN no intercambian ninguna transmisión entre sí. El procedimiento *Tune Away* es utilizado por el AT y la AN para permitir al AT medir la disponibilidad de otras bandas de canales o de otras tecnologías. Una banda de canales es un conjunto de canales transmitidos entre la AN y el AT dentro de una asignación de frecuencias dada, y está conformada por un enlace de bajada y un enlace de subida.

El inicio y la finalización del procedimiento *Tune Away* es determinado por el atributo del mismo nombre y por los mensajes de petición y respuesta del procedimiento.

Cabe indicar además que el AT y la AN pueden operar con múltiples listas *Tune Away*. Cada lista es especificada por un atributo *Tune Away* independiente, pero varias listas sí pueden compartir los mismos mensajes de petición y respuesta.

La operación de todo el procedimiento es controlada a través de una variable denominada Estado *Tune Away*, la misma que está definida como un dato público de este protocolo.

Si el estado *Tune Away* está configurado en uno en el AT, este puede dejar de monitorizar los canales de bajada y debe necesariamente detener la transmisión en los canales de subida; de manera similar, si el estado *Tune Away* está configurado en uno en la AN, entonces esta puede dejar de monitorizar los canales de subida y debe obligatoriamente detener la transmisión hacia el AT a través de los canales de bajada[11].

## Protocolo de Mensajes de *Overhead*

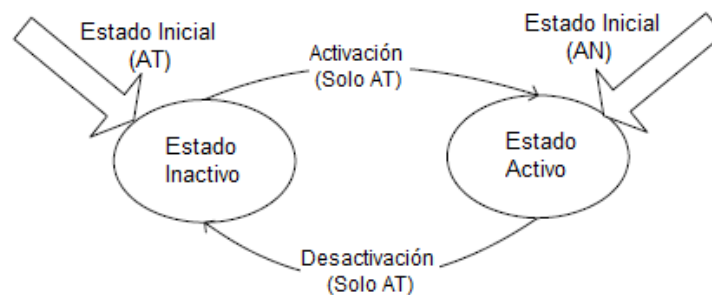
El Protocolo de Mensajes de *Overhead* hace posible el intercambio de mensajes de *broadcast* y de bloques que contienen información que es principalmente utilizada por los protocolos de la Subcapa de Control MAC Inferior. Este protocolo es responsable de la transmisión, recepción y supervisión de los bloques de información *SystemInfo* y *QuickChannelInfo*, así como de los mensajes *ExtendedChannelInfo* y *SectorParameters*.

Los dos bloques de información son difundidos o transmitidos en *broadcast* por la red de acceso directamente sobre el protocolo MAC de Canal de Control y los dos mensajes son difundidos por *broadcast* utilizando el Transporte de Señalización[8].

El protocolo de Mensajes de *Overhead* puede encontrarse en dos estados durante su funcionamiento, un estado de inactividad y un estado de actividad.

- **Estado Inactivo:** En este estado el protocolo espera por un comando de Activación. El estado Inactivo se aplica solamente al AT y ocurre cuando el AT todavía no ha adquirido una AN o cuando no requiere recibir mensajes de *Overhead*.
- **Estado Activo:** Cuando se ha establecido el estado Activo la AN transmite y el AT recibe mensajes de *Overhead*.

La Figura 2.36 muestra el diagrama de estados del protocolo de Mensajes de *Overhead* e indica las transiciones que pueden producirse entre los diferentes estados y los comandos que originan dichas transiciones. Como puede apreciarse, solamente el AT conmuta entre el estado Inactivo y Activo luego de haber recibido el comando respectivo, mientras que la AN se mantiene solamente en el estado Activo, ya que el estado Inactivo no se encuentra definido para ella.



**Figura 2.36:** Diagrama de Estados del Protocolo de Mensajes de *Overhead*

Si la AN se encuentra lista para proporcionar un servicio, debe inmediatamente hacer una difusión de los bloques de información y de los mensajes que tiene la obligación de transmitir. Estos bloques de información y mensajes transmitidos por el protocolo de Mensajes de *Overhead* son considerados como datos públicos del protocolo.

Los bloques de información son transmitidos directamente sobre el Protocolo MAC de Canal de Control y transportados a través de un canal de capa física, es decir que en ningún momento pasan a través del Transporte de Señalización; transporte que si es utilizado para la transmisión de los mensajes, los mismos que son enviados por medio de un Canal MAC de Tráfico de Bajada. Tanto los mensajes como los bloques son transmitidos por la AN y recibidos por el AT, el mismo que es el encargado de la supervisión de los datos recibidos.

Toda la información contenida en los bloques y en los mensajes es utilizada por el AT para recoger datos necesarios para el establecimiento de una conexión de red, datos que son recogidos precisamente en la supervisión que realiza el AT. La información transmitida está generalmente relacionada con el número de antenas utilizadas, número de portadoras existentes en el caso de una comunicación multi-portadora, datos acerca de los sectores de la red, y también de ciertos canales indispensables para la comunicación[11].

### Protocolo de Gestión de *Active Set*

De manera general, el Protocolo de Gestión de *Active Set*, proporciona los medios para mantener un *Active Set* entre el terminal de acceso y la red de acceso. Para esto, define los procedimientos y mensajes utilizados por el AT y la AN para realizar un seguimiento de la localización aproximada del AT y para mantener el enlace de radio a medida que el AT se mueve entre las áreas de cobertura de diferentes sectores[8].

El protocolo de Gestión de *Active Set* basa su funcionamiento en el establecimiento de tres estados diferentes, los mismos que tienen una estrecha relación con los diversos estados de los protocolos descritos con anterioridad en la presente sección. Los tres estados de este protocolo son los siguientes:

- **Estado Inactivo:** El estado Inactivo de este protocolo funciona exactamente de la misma manera que el estado Inactivo de cualquiera de los otros protocolos de Subcapa de Control MAC Inferior que soporten dicho estado.
- **Estado Suspendido:** Este estado corresponde con el estado Inactivo del protocolo de Gestión de Enlace de Aire, y su principal características es que el AT puede mantener de forma autónoma un *Active Set*. Cuando se encuentra en estado Inactivo el protocolo envía mensajes *PilotReport*, desde el AT hacia la AN, mensajes que son generados basándose en la distancia entre el sector que actualmente se encuentra sirviendo al AT y el sector de servicio activo en el momento en que el AT envió su última actualización. La generación de estos mensajes ocasiona la transición desde el estado Inactivo al estado Conectado.
- **Estado Conectado:** En el estado Conectado la AN dicta el *Active Set* para el AT. Los mensajes *PilotReport* que se generan desde el AT hacia la AN en este estado están basados en el cambio de condiciones del enlace de radio.

Las transiciones entre los tres estados son manejadas por diversos comandos recibidos

de otros protocolos de la Subcapa de Control MAC Inferior, y también por la transmisión y recepción de los mensajes de Asignación de *Active Set*. La Figura 2.37 ilustra los estados del protocolo, así como los mensajes y comandos que originan las transiciones entre estos estados.



**Figura 2.37: Diagrama de Estados del Protocolo de Gestión de *Active Set***

El protocolo de Gestión de *Active Set* utiliza ciertos parámetros que son proporcionados como datos públicos por el protocolo de Mensajes de *Overhead*, por atributos configurados, o por constantes del protocolo. La Tabla 2.3 lista todos los parámetros del protocolo que son obtenidos desde los datos públicos del protocolo de Mensajes de *Overhead*.

**Tabla 2.3: Parámetros del Protocolo de Gestión de *Active Set***

Parámetro	Descripción
<i>Latitude</i>	Latitud del sector
<i>Longitude</i>	Longitud del sector
<i>RegistrationRadius</i>	Distancia entre el sector de servicio y el sector en cuya localización se realizó el último reporte que desencadenó un nuevo reporte
<i>NumNeighbors</i>	Número de vecinos especificado en el mensaje
<i>NeighborPN</i>	<i>Pilot PN</i> de cada vecino
<i>NeighborChannelBandIncluded</i>	Seteado en 1 si un historial de bandas de canales es incluido para el vecino
<i>NeighborChannelBand</i>	Historial de las bandas de canales del vecino especificando el tipo de red y la frecuencia

El *Pilot PN* o Secuencia Piloto PN es un par de Secuencias PN modificadas de máxima longitud utilizadas para ensanchar los canales de subida y de bajada. Diferentes estaciones base o puntos de acceso dentro del sistema son identificados con diferentes Secuencias

Piloto PN, por lo tanto, el Piloto PN es también un identificador de 9 bits que permite identificar diferentes sectores.

Una Secuencia PN (*Pseudonoise*) o Secuencia de Pseudoruido es una secuencia binaria periódica utiliza, al igual que la Secuencia Piloto PN, para expandir los canales de enlace que se establecen desde la estación base o punto de acceso hacia el terminal móvil. Las Secuencias o Códigos PN están relacionados con las señales Piloto, los cuales son Códigos PN sin modular asociados con cada canal y utilizados para la sincronización del mismo.

El estudio de las secuencias de Pseudoruido y Piloto PN, así como de las señales Piloto, no forma parte del alcance del presente proyecto, razón por la cual no se profundizará más en su descripción[11].

### **Pilotos y *Sets* de Pilotos**

El AT estima la fuerza del canal de bajada transmitido por cada sector presente en sus alrededores. Esta estimación está basada en la medición de la fuerza del Canal Piloto de bajada, canal que en adelante se denominará solamente como piloto.

El AT debe siempre realizar la medición de la fuerza de cada piloto que busca. La estimación de la fuerza que realiza el AT consiste básicamente en la relación entre la energía recibida del piloto y la densidad espectral de potencia o energía total recibida. Adicionalmente el AT debe medir también la potencia recibida, expresada en dBm, de cada piloto adquirido en las antenas de recepción; y si el AT tiene más de una antena receptora, la potencia debe ser promediada a través de todas las antenas. El AT debe actualizar la potencia medida en cada super trama que transmite.

Cuando este protocolo se encuentra en estado Conectado, el AT utiliza la fuerza del piloto para decidir cuando genera mensajes de *PilotReport*; y cuando se encuentra en estado Suspendido, la utiliza para decidir que canal de control del sector monitorizar.

A continuación se describen los *Sets* de Pilotos que están definidos para soportar el proceso de gestión de *Active Set*.

- ***Active Set* o Set Activo:** Es el set de pilotos asociado con los sectores que actualmente se encuentran proporcionando servicio al AT. Cuando una conexión es abierta, un sector está considerando la posibilidad de servir a un AT cuando existe un MAC ID asignado a este AT en ese sector; por el contrario, cuando no existe

una conexión abierta, un sector está considerando la posibilidad de servir a un AT cuando el AT está monitorizando el canal de control de ese sector. Los parámetros para los sectores miembros de un *Active Set* en el estado Conectado son enviados como parte del mensaje de Asignación de *Active Set*, y puestos como datos públicos del protocolo de Gestión de *Active Set*.

- ***Candidate Set* o Set de Candidatos:** Está formado por los pilotos que no se encuentran en el *Active Set*, pero que son recibidos por el AT con suficiente fuerza para indicar que los sectores que los están transmitiendo son buenos candidatos para incluirlos en el *Active Set*.
- ***Neighbor Set* o Set de Vecinos:** Set de pilotos que no se encuentran incluidos en ninguno de los sets anteriores, pero que son posibles candidatos para incluirlos en el *Active Set*.
- ***Remaining Set* o Set Restante:** Está formado por todos los posibles pilotos, excluyendo obviamente a todos los pilotos que se encuentran en cualquiera de los sets anteriores.

En un instante determinado un piloto puede ser miembro solamente de un set, es decir que para cambiar de set tiene que ser removido definitivamente del set al que pertenece antes de pasar a formar parte de su nuevo set.

Es importante tener presente que en el AT se almacenan los cuatro sets descritos anteriormente, mientras que la AN solamente mantiene al *Active Set* y no tienen conocimientos de los otros tres[11].

### Protocolo de Estado de Inicialización

El Protocolo de Estado de Inicialización define los mensajes y procedimientos requeridos para que un terminal de acceso pueda adquirir una red y para que una red de acceso pueda soportar la adquisición de red. Es decir que este protocolo constituye el primer paso para el establecimiento de una conexión entre el AT y la AN.

La importancia de este protocolo en el AT radica en el hecho de imponer dos requerimientos que hacen que el AT siga la información de la banda de canales proporcionada por el protocolo de Gestión de Enlace de Aire y adicionalmente evita que el AT intente conectarse a redes que se encuentran fuera del rango permitido del número de revisión.

El protocolo de Estado de Inicialización define cuatro estados de funcionamiento sobre el AT solamente, ya que sobre la AN no define ningún estado. Los estados del protocolo se listan a continuación.

- **Estado Inactivo:** Estado en el cual el AT espera por un comando de Activación para conmutar.
- **Estado de Determinación de Red:** En el estado de Determinación de Red, el AT escoge una AN en la cual operar.
- **Estado de Adquisición de Piloto:** En este estado el AT adquiere un Canal Piloto de bajada.
- **Estado de Lectura *SystemInfo*:** Cuando se encuentra en este estado, el AT, lee el bloque de información *SystemInfo* para determinar si el número de revisión es soportado por el AT.

La Figura 2.38 muestra los estados del protocolo descritos en la lista anterior.

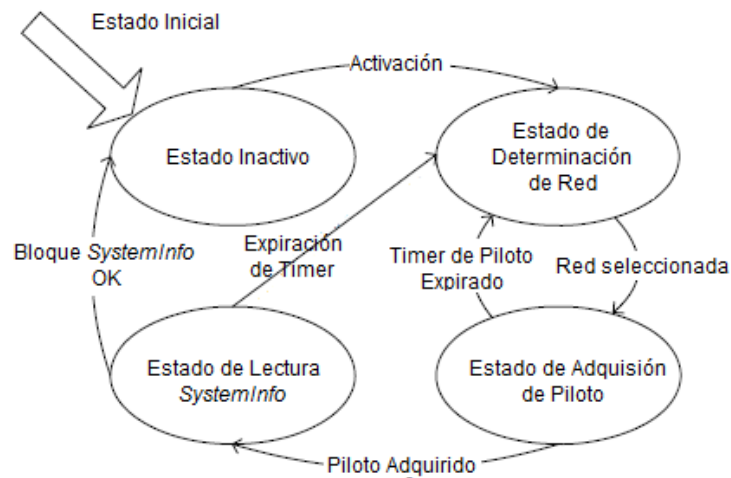


Figura 2.38: Diagrama de Estados del Protocolo de Estado de Inicialización

### 2.1.2.6. Subcapa MAC Inferior

La Subcapa MAC Inferior contiene las reglas para la formación de los paquetes MAC que serán transmitidos sobre un canal de Capa Física, y para la interpretación de los mismos paquetes cuando estos, por el contrario, son entregados desde un canal de Capa

Física. Particularmente, la Subcapa MAC Inferior contiene las reglas para gobernar la operación de los canales de tráfico de subida y de bajada; adicionalmente a los canales de datos, esta subcapa controla y procesa los canales de señalización de Capa Física tanto en los enlaces de bajada como de subida.

En esta sección se analizará cada uno de los protocolos que forman parte de la Subcapa MAC Inferior, cada uno de los cuales puede ser negociado independientemente al inicio de una sesión. Los protocolos que componen esta subcapa son los siguientes:

- Protocolo MAC de Canal de Control
- Protocolo MAC de Canal de Acceso
- Protocolo MAC de Señalización Compartida
- Protocolo MAC de Canal de Tráfico de Bajada
- Protocolo MAC de Canal de Control de Subida
- Protocolo MAC de Canal de Tráfico de Subida

Cuando se realiza una transmisión en la red de acceso, la Subcapa MAC Inferior recibe paquetes de la Subcapa de Seguridad, utiliza el Canal MAC de Tráfico de Bajada para añadir las cabeceras y colas pertinentes, y envía el paquete resultante hacia la Capa Física para su transmisión por medio del Canal de Datos de Bajada (F-DCH). Cuando la transmisión es realizada por el terminal de acceso, se sigue exactamente el mismo procedimiento descrito anteriormente, con la diferencia de que se utilizan los canales MAC de Tráfico de Subida y de Datos de Subida (R-DCH) en lugar de los canales de bajada.

En el caso de una recepción en el AT, la Subcapa MAC Inferior recibe paquetes MAC Inferior del Canal de Datos de Bajada de la Capa Física, utiliza el Canal MAC de Tráfico de Bajada para remover las cabeceras y colas respectivas, y envía los paquetes de Subcapa de Seguridad que se forman hacia la subcapa apropiada, es decir la de Seguridad. Si la recepción se realiza en la AN, el procedimiento de recepción es exactamente el mismo, solamente que en lugar de los canales de bajada se utilizan los respectivos canales de subida.



La Figura 2.39 muestra la encapsulación que se realiza en esta subcapa, así como la relación existente entre los paquetes de la Subcapa MAC Inferior, Subcapa de Seguridad, y Subcapa Física; subcapas que anteceden y suceden respectivamente a la MAC Inferior.

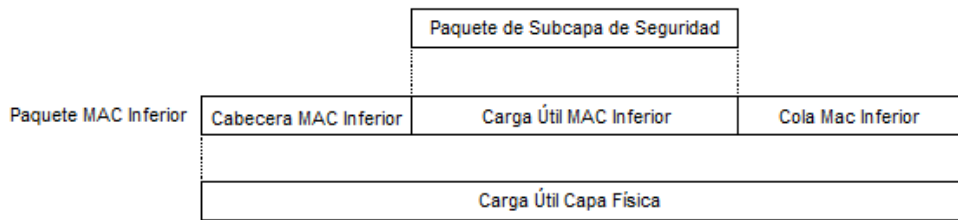


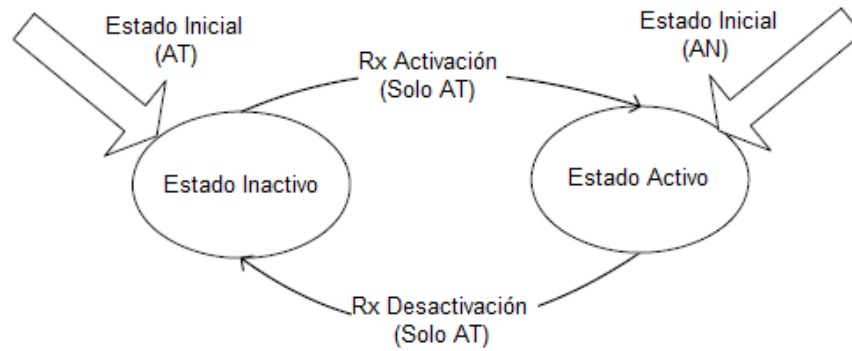
Figura 2.39: Encapsulación de Paquetes de la Subcapa MAC Inferior

### Protocolo MAC de Canal de Control

El Protocolo MAC de Canal de Control proporciona los procedimientos y los mensajes requeridos por la red de acceso para transmitir y por el terminal de acceso para recibir el Canal de Control. El protocolo controla las transmisiones sobre los siguientes canales de Capa Física: canal de interferencia de otro sector (OSICH) y canales primarios de *broadcast* (pBCH0 y pBCH1). Este protocolo, en la AN, maneja cada sector de la red de manera independiente, y puede operar en dos estados diferentes: el estado Inactivo y el estado Activo.

- **Estado Inactivo:** En este estado el protocolo se encuentra a la espera de un comando de Activación, y se aplica solamente sobre el AT, ya que ocurre cuando el AT no ha adquirido una AN o en su defecto cuando no se encuentra monitorizando al Canal de Control.
- **Estado Activo:** En el estado Activo la AN transmite y el AT recibe el Canal de Control.

Como puede observarse en la Figura 2.40, el estado Inactivo se aplica solamente para el AT, y por lo tanto solamente el AT puede recibir comandos de Activación y Desactivación para conmutar de un estado a otro. Cuando se encuentra en el estado Inactivo, y recibe un comando de Activación, el AT realiza una transición al estado Activo en el cual tiene que monitorizar los tres canales relacionados con el Canal MAC de Control. Paralelamente la AN, que siempre se encuentra en estado Activo, puede empezar a realizar las transmisiones cuando el AT ha alcanzado el mismo estado.



**Figura 2.40: Diagrama de Estados del Protocolo MAC de Canal de Control**

Las transmisiones que se realizan sobre los dos canales de *broadcast* de Capa Física obviamente contienen información necesaria para el correcto establecimiento de la comunicación, información que también es compartida con otras subcapas y protocolos de la Capa MAC, como por ejemplo los bloques de información *QuickChannelInfo* y *SystemInfo* que son utilizados en el protocolo de Mensajes de *Overhead* de la subcapa de Control MAC Inferior. Es más, cuando este protocolo recibe un paquete con este tipo de informaciones lo transmite precisamente hacia el protocolo de Mensajes de *Overhead*, es decir que los bloques de información utilizados para Mensajes *Overhead* son remitidos desde este protocolo.

El canal OSICH se encarga de transportar el valor OSI hacia la Capa Física para su transmisión. El valor OSI es el valor de interferencia con otros sectores, y debido a que el cómputo que se realiza para obtenerlo no se encuentra dentro del alcance del presente proyecto, no se profundizará más al respecto[11].

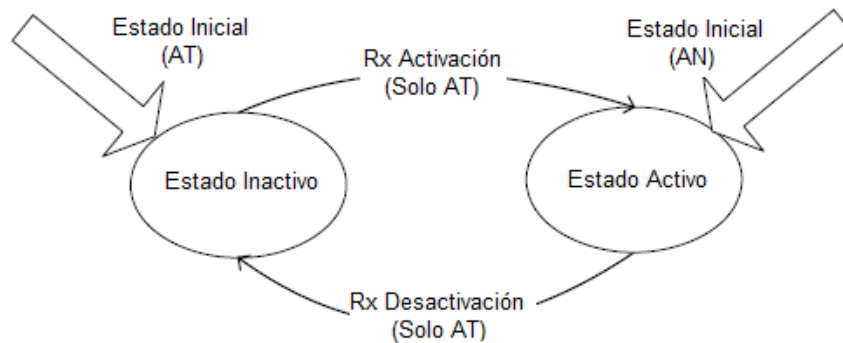
### Protocolo MAC de Canal de Acceso

El Protocolo MAC de Canal de Acceso maneja los procedimientos y mensajes requeridos por el terminal de acceso para transmitir, y por la red de acceso para recibir, el *Access Probe* o Prueba de Acceso. El *Access Probe* puede ser utilizado tanto para realizar el acceso inicial de un AT a una AN, o para realizar el *handoff* dentro de un *Active Set*. Cuando el AT envía un *Access Probe*, la AN responde con un *Access Grant* o Aceptación de Acceso enviada sobre el Protocolo MAC de Señalización Compartida.

Al igual que en el protocolo descrito anteriormente, en el protocolo MAC de Canal de Acceso, se pueden definir dos estados sobre el AT y un solo estado sobre la AN. Los estados que pueden definirse sobre el AT son el Inactivo y el Activo, mientras que en la AN se establece solo el estado Activo.

- **Estado Inactivo:** Ocurre cuando el AT aún no ha adquirido ninguna AN, y se encuentra a la espera de un comando de Activación.
- **Estado Activo:** En el estado Activo el AT puede transmitir sobre el Canal de Acceso, y paralelamente la AN monitoriza dicho canal en espera de una transmisión.

La Figura 2.41 muestra el diagrama de estados del protocolo MAC de Canal de Acceso.



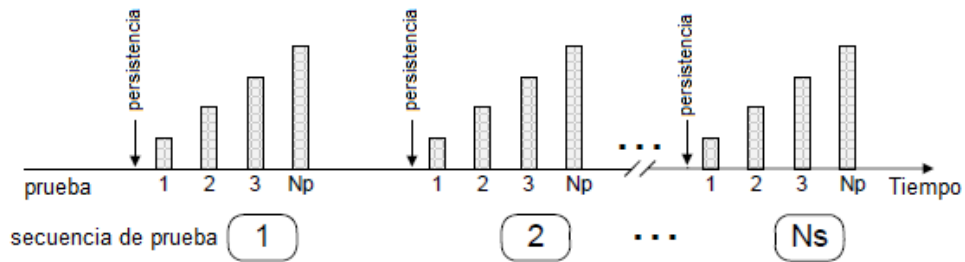
**Figura 2.41: Diagrama de Estados del Protocolo MAC de Canal de Acceso**

Debido a que el único estado aplicable en la AN es el estado Activo, la AN ignora todos los comandos de Activación y Desactivación que recibe, puesto que no requiere hacer ninguna transición de estado.

Cuando el AT se encuentra en estado Inactivo y recibe un comando de Activación conmuta inmediatamente al estado Activo, en el que puede transmitir sobre el Canal de Acceso hacia la AN, y en el cual se mantendrá hasta que reciba un comando de Desactivación. Si se recibe dicho comando el AT debe cesar inmediatamente las transmisiones sobre el Canal de Acceso, en el caso de encontrarse en el proceso de enviar una Prueba de Acceso; posteriormente envía una indicación de que la transmisión se ha cancelado, para finalmente realizar una transición al estado Inactivo.

### Estructura del Canal de Acceso

La Figura 2.42 ilustra la estructura de una Prueba de Acceso y de una secuencia de Pruebas de Acceso. Como puede observarse, se muestra un número  $N_s$  de secuencias de prueba, cada una con un número  $N_p$  de pruebas.



**Figura 2.42: Secuencia de Pruebas de Acceso**

El protocolo MAC de Canal de Acceso transmite Pruebas de Acceso por medio de la instrucción a la Capa Física de transmitir una prueba; y con dicha instrucción le indica además a la Capa Física el nivel de potencia, el ID de Secuencia de Acceso, y el *Pilot PN* del sector en el cual la Prueba de Acceso es transmitida. La Capa Física solamente permite la transmisión de las Pruebas de Acceso en ciertos periodos de tiempo.

Cada prueba en una secuencia es transmitida con mayor potencia hasta que alguna de las siguientes condiciones sea cumplida:

- El AT recibe una Aceptación de Acceso
- La transmisión es suspendida debido a que el protocolo ha recibido un comando de Desactivación
- El máximo número de pruebas por secuencia ha sido transmitido; aunque después de haberse transmitido el máximo número de pruebas, una nueva secuencia de pruebas puede iniciarse desde el nivel más bajo de potencia

Cabe anotar, que antes de la transmisión de la primera prueba de todas las secuencias, el AT lleva a cabo una prueba de persistencia que es utilizada para controlar la congestión en el Canal de Acceso[6].

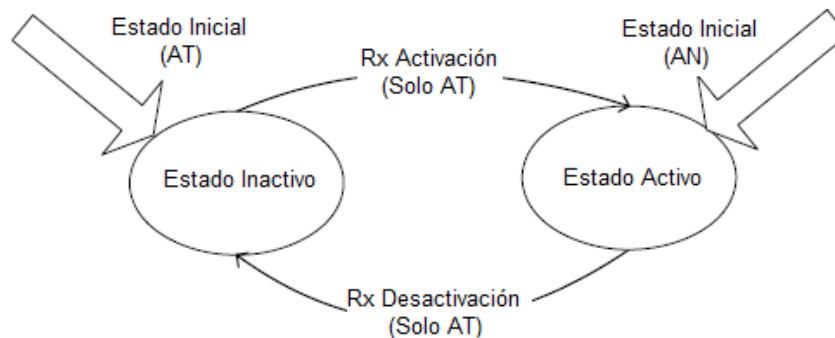
### Protocolo MAC de Señalización Compartida

El Protocolo MAC de Señalización Compartida proporciona los procedimientos y mensajes requeridos para la señalización de la Subcapa MAC Inferior; esto incluye la recepción en el terminal de acceso, y la transmisión en la red de acceso, sobre los canales de Capa Física controlados por este protocolo, como el canal F-SSCH o Canal de Bajada de Señalización Compartida.

De manera similar a los dos protocolos de la Subcapa MAC Inferior analizados anteriormente en la presente sección, este protocolo puede operar en dos estados diferentes cuando se aplica sobre el AT y en un solo modo cuando se aplica sobre la AN.

- **Estado Inactivo:** Funciona exactamente igual que el estado Inactivo de los protocolos MAC de Canal de Control y de Canal de Acceso, es decir que en este estado el AT espera por un comando de Activación, y ocurre solamente cuando el AT aún no ha adquirida una AN.
- **Estado Activo:** En este estado, la AN transmite y el AT recibe el canal F-SSCH. En la AN solamente se establece el estado Activo.

La Figura 2.43 muestra el diagrama de estados del protocolo MAC de Señalización Compartida.



**Figura 2.43:** Diagrama de Estados del Protocolo MAC de Señalización Compartida

### Protocolo MAC de Canal de Tráfico de Bajada

El Protocolo MAC de Canal de Tráfico de Bajada es el encargado de proporcionar los mensajes y procedimientos necesarios para que la red de acceso pueda transmitir, y el terminal de acceso recibir, el Canal de Tráfico de Bajada. La unidad de transmisión de datos de este protocolo es el paquete de Canal de Tráfico de Bajada de la Subcapa MAC Inferior, y a su vez cada uno de estos paquetes está formado por un paquete de la Subcapa de Seguridad. Para la formación del paquete de Canal de Tráfico de Bajada el protocolo le añade las cabeceras respectivas al paquete de Subcapa de Seguridad y posteriormente lo envía a la Capa Física para la transmisión.

Para su funcionamiento, la AN mantiene una instancia del protocolo para cada MAC ID que ha sido asignada; y se definen dos estados de operación en el protocolo, el estado Inactivo y el estado Activo, tal como se explica a continuación.

- **Estado Inactivo:** En el estado Inactivo el AT no puede recibir ningún paquete desde el Canal de Tráfico de Bajada. En este estado el protocolo espera por un comando de Activación para poder conmutar de estado.
- **Estado Activo:** El estado Activo se establece cuando el AT recibe un comando de Activación para poder estar en capacidad de recibir el Canal de Tráfico de Bajada[6].

Los estados del protocolo y las transiciones permitidas entre dichos estados son mostrados en la Figura 2.44.

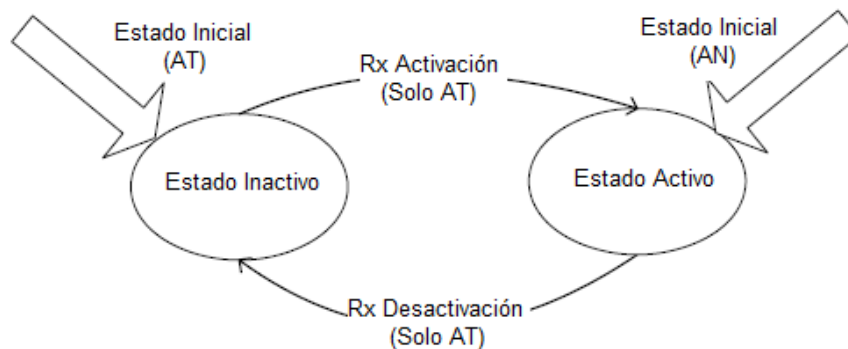


Figura 2.44: Diagrama de Estados del Protocolo MAC de Canal de Tráfico de Bajada

### Protocolo MAC de Canal de Control de Subida

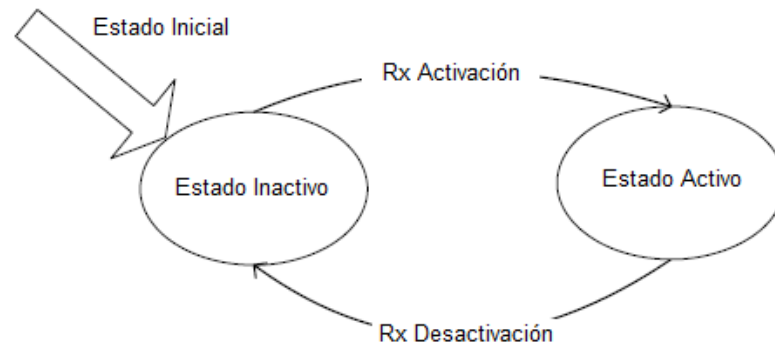
El Protocolo MAC de Canal de Control de Subida define los procedimientos para las transmisiones y las recepciones sobre los canales de control de subida, entre los que se pueden mencionar los siguientes: R-CQICH, R-BFCH, R-SFCH, R-PICH, R-REQCH y R-ACKCH.

- El R-CQICH transporta información acerca de la calidad del canal de enlace de bajada de un sector tal y como es recibido por el terminal de acceso. Además transporta información acerca del sector de servicio deseado para el enlace de bajada.
- El R-SFCH es un canal de retroalimentación que transporte información acerca de la calidad de una sub-banda en el canal de enlace de bajada.
- El R-BFCH es otro canal de retroalimentación que lleva información relacionada con el índice de ráfaga del canal de enlace de bajada, y que adicionalmente, transporta información adicional de la calidad del canal necesaria para activar una transmisión SDMA.

- El R-PICH es un canal piloto de banda ancha.
- El R-REQCH es el canal utilizado por el AT para realizar la solicitud de recursos cuando requiere que le sean asignados. Adicionalmente transporta información relacionada con las diferentes clases de calidad de servicio en un AT, así como información relacionada con el sector de servicio deseado para el enlace de subida.
- El R-ACKCH es el canal utilizado por el AT para enviar acuses de recibo de paquetes MAC del enlace de bajada, es decir acuses de recibo de las recepciones que se realizan en el Canal de Datos de Bajada[11].

Para realizar las transmisiones y recepciones sobre los canales mencionados anteriormente, el protocolo define dos estados de operación tanto sobre la AN como sobre el AT. A continuación se describen dichos estados.

- **Estado Inactivo:** En este estado al AT no se le ha asignado aún un MAC ID, y por consiguiente, no puede realizar ninguna transmisión sobre el Canal de Tráfico de Subida. Cuando se encuentra en estado Inactivo el protocolo espera por un comando de Activación para poder iniciar las transmisiones.
- **Estado Activo:** En el estado Activo el AT ya dispone de una MAC ID y es capaz de realizar transmisiones de datos sobre el Canal de Tráfico de Subida.



**Figura 2.45: Diagrama de Estados del Protocolo MAC de Canal de Control de Subida**

Como puede observarse, en la Figura 2.45, se ilustra el diagrama de estados del protocolo.

El estado Inactivo es el estado inicial del protocolo, en el cual se mantiene hasta la recepción de un comando de Activación que es el encargado de ocasionar la transición

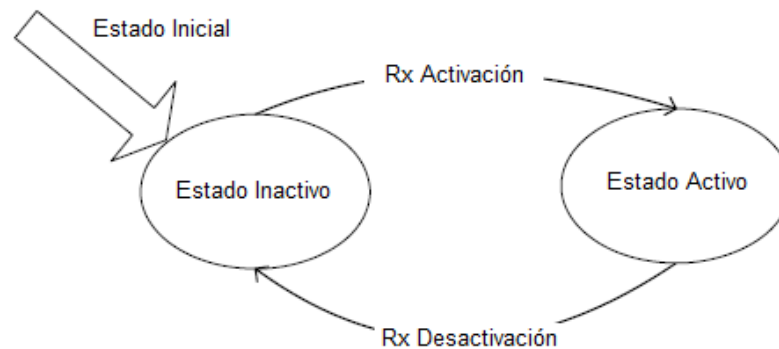
del protocolo al estado Activo. En el estado Activo el AT está en capacidad de realizar transmisiones sobre el canal de datos, y se mantiene en este estado hasta recibir un comando de Desactivación; luego de la recepción de este comando, el AT cesa inmediatamente la transmisión sobre los Canales de Control de Subida, y la AN deja de monitorizar dichos canales, para finalmente conmutar al estado Inactivo nuevamente[6].

### Protocolo MAC de Canal de Tráfico de Subida

El Protocolo MAC de Canal de Tráfico de Subida proporciona los mensajes y los procedimientos requeridos por el terminal de acceso para transmitir, y por la red de acceso para recibir, el Canal de Tráfico de Subida.

Para su correcto funcionamiento, la AN mantiene una instancia de este protocolo para cada AT, y tanto en la AN como en el AT opera en los mismos dos modos de funcionamiento que se definen para todos los protocolos de la Subcapa MAC Inferior descritos anteriormente.

La Figura 2.46 permite observar los modos de operación del protocolo y los comandos que hacen posible la transición entre esos estados.



**Figura 2.46: Diagrama de Estados del Protocolo MAC de Canal de Tráfico de Subida**

En el estado Inactivo el AT no tiene asignado ningún MAC ID y por tanto no puede transmitir sobre el Canal de Tráfico de Subida. Cuando el protocolo se encuentra en este estado espera por un comando de Activación para poder hacer la transición hacia el estado Activo, en el cual el AT ya tiene asignado un MAC ID y por tanto se encuentra en la capacidad de realizar transmisiones sobre el Canal de Tráfico de Subida.

De manera similar a lo que ocurre con el Protocolo MAC de Canal de Tráfico de Bajada, la unidad de transmisión de este protocolo es el paquete de Canal de Tráfico de la



Subcapa MAC Inferior, pero obviamente en este caso el paquete corresponde al canal de subida. Cada uno de estos paquetes contiene un paquete de la Subcapa de Seguridad y se forma al añadirle a dicho paquete las cabeceras respectivas del protocolo[6].

### 2.1.3. Especificaciones de la Capa Física

La capa física utiliza una combinación de dos métodos diferentes para controlar el acceso al medio o canal: OFDMA para los canales de datos en el enlace de bajada y una combinación de OFDMA para los canales de datos y CDMA para algunos de los canales de control en el enlace de subida.

En el modo de operación *Wideband*, la Capa Física maneja las transmisiones por medio de símbolos OFDM con un espaciado entre portadoras de 9.6 KHz; y el sistema puede ser desplegado en anchos de banda flexibles comprendidos entre 5 y 20 MHz, utilizando técnicas de transmisión MIMO que le permiten alcanzar velocidades de datos superiores a los 260 Mbps en canales con un ancho de banda de 20 MHz.

Adicionalmente en la operación de un sistema MBWA *Wideband* se pueden utilizar anchos de banda flexibles por medio de la aplicación de portadoras de guarda de longitud variable, siendo este ancho de banda escalable en unidades de 154 KHz. De manera general, la interfaz de aire está diseñada para una operación robusta con un reuso de frecuencia igual a 1, haciendo que una planificación de frecuencia no sea necesaria para el sistema[9].

Los sistemas *Wideband* tiene la capacidad de soportar tanto duplexación por división de tiempo (MBTDD) como duplexación por división de frecuencia (MBFDD) para su funcionamiento. El modo MBTDD proporciona además una asignación flexible de recursos entre los enlaces de subida y de bajada.

Tanto el modo de operación MBFDD como MBTDD utilizan estructuras de trama para la transmisión a nivel de la capa física. La utilización de estructura de tramas proporciona una transmisión de paquetes con una latencia inferior a los 5.5 ms, lo cual hace posible que los sistemas MBWA *Wideband* soporten aplicaciones que presenten una alta sensibilidad a los retardos. Además de la baja latencia que se obtiene en las transmisiones, el sistema emplea canales de control que han sido diseñados para soportar varios modos de transmisión que proporcionen *overheads* reducidos.

Una de las características principales de los sistemas de acceso inalámbrico de banda

ancha móvil *Wideband* es la alta eficiencia espectral que manejan, la misma que es posible debido a la utilización de codificaciones turbo y modulaciones de orden superior; y además a la incorporación de un mecanismo de salto de frecuencia o *frequency hopping* que es utilizado junto con OFDMA para incrementar la diversidad en el sistema; siendo soportados dos modos distintos de salto de frecuencia[8].

La codificación turbo que se utiliza típicamente tiene una tasa de 1/5 y se utiliza para codificar paquetes en los cuales el número de bits de información es mayor a 128; y adicionalmente a los códigos turbo también se utilizan códigos convolucionales con una tasa de 1/3 cuando se necesita codificar paquetes pequeños con una cantidad de bits de información menor a 128. En cuanto a la modulación de orden superior, comúnmente se utilizan modulaciones QPSK, 8PSK, 16QAM y 64QAM.

Para mejorar aún más la eficiencia espectral y el área de cobertura, el modo *Wideband* describe varias técnicas de transmisión avanzadas que incluyen transmisiones con múltiples entradas y múltiples salidas (MIMO), pre-codificación, *beamforming* aplicable solamente para el modo TDD, y utilización de acceso múltiple por división de espacio (SDMA). MIMO permite manejar altas tasas de transmisión para los usuarios, el *beamforming* incrementa también la tasa de datos de usuario concentrando la potencia de transmisión en la dirección en que se encuentran el mismo, posibilitando de esta manera obtener un mayor SINR de recepción en la terminal de acceso; y SDMA incrementa la capacidad de sectorización al permitir transmisiones simultáneas a múltiples usuarios que pueden estar espacialmente separados. El *beamforming* junto con MIMO y SDMA proporciona tasas de usuario más elevadas tanto en las regiones con un bajo SINR como en las regiones con SINR elevado[9].

Con el objetivo de crear sistemas muy eficientes tanto en los mecanismos de transmisión como en la utilización del espectro, *Wideband* incorpora características como la utilización de enlaces cuasi-ortogonales y la reutilización fraccional de frecuencias. Los enlaces cuasi-ortogonales se incorporan debido a que el sistema utiliza OFDMA en el enlace de subida de los canales de datos, y por tanto la capacidad del mismo no se escala linealmente con el número de antenas de recepción en el punto de acceso; para superar este inconveniente, se hace uso de un enlace de subida cuasi-ortogonal. Los sistemas MBWA *Wideband* están diseñados para operar con una reutilización universal de frecuencia, sin embargo, también pueden emplear una reutilización fraccionaria de frecuencias (FFR), la cual es una técnica de gestión de interferencias que proporciona una mejor experiencia de uso para los usuarios en los límites de las celdas[8].

Para controlar el funcionamiento de la Capa Física, se implementa un solo protocolo que es el encargado de controlar todas las funciones de la capa, es decir, el manejo de frecuencias, la potencia de salida, y las especificaciones de modulación y codificación para los enlaces y canales de subida y de bajada. Este protocolo es el Protocolo de Capa Física.

Las unidades de transmisión que maneja este protocolo son los paquetes de Capa Física que se forman a partir de los paquetes de Capa MAC que recibe, es decir que cada paquete de Capa Física contiene un paquete de Capa MAC[11].

### 2.1.3.1. Estructura de los Canales de Capa Física

El sistema MBWA *Wideband* incluye varios canales de Capa Física utilizados tanto en el enlace de bajada como de subida, canales que son configurados y controlados por los protocolos de la Capa MAC, específicamente por los protocolos de la Subcapa MAC Inferior.

#### Canales Físicos de Bajada

- **Canal de Adquisición de Bajada (F-ACQCH):** Transporta el piloto de adquisición para un terminal de acceso para usarlo en la adquisición del sistema.
- **Canal Piloto Auxiliar de Bajada (F-AuxPICH):** Transporta pilotos auxiliares para la estimación de canal cuando se realiza una transmisión con múltiples antenas. El Canal Primario de *Broadcast* de Bajada número 1 (F-pBCH1) indica cuando este canal se encuentra presente en una transmisión.
- **Canal Piloto Común de Bajada (F-CPICH):** Se encarga del transporte del piloto.
- **Canal de Datos de Bajada (F-DCH):** Transporta información para un AT específico. Un F-DCH es asignado a un AT por medio de una asignación del Canal de Señalización de Compartida de Bajada (F-SSCH). Este canal también transporta información de *broadcast* incluyendo información de paginación y mensajes de sectores específicos.
- **Canal Piloto Dedicado de Bajada (F-DPICH):** Se encarga de transportar un piloto dedicado, el mismo que se utiliza en el modo *Block Hopping* que se explicará más adelante.

- **Canal de Interferencia de Otro Sector de Bajada (F-OSICH):** Transporta información acerca de la interferencia desde otros sectores que será recibida en todos los AT.
- **Canal Primario de Difusión de Bajada 0 (F-pBCH0):** Transporta información acerca del sistema que será recibida por todos los AT.
- **Canal Primario de Difusión de Bajada 1 (F-pBCH1):** Transporta información acerca del sistema que será recibida por todos los AT.
- **Canal de Señalización Compartida de Bajada (F-SSCH):** Transporta las asignaciones de los canales de datos del enlace de bajada y de subida, y adicionalmente transporta información de acuse de recibo para las transmisiones sobre el Canal de Datos de Subida (R-DCH)[8].

Las jerarquías y relaciones entre los protocolos de la Subcapa MAC Inferior y los Canales de Capa Física para el enlace de bajada se muestran en la Figura 2.47.

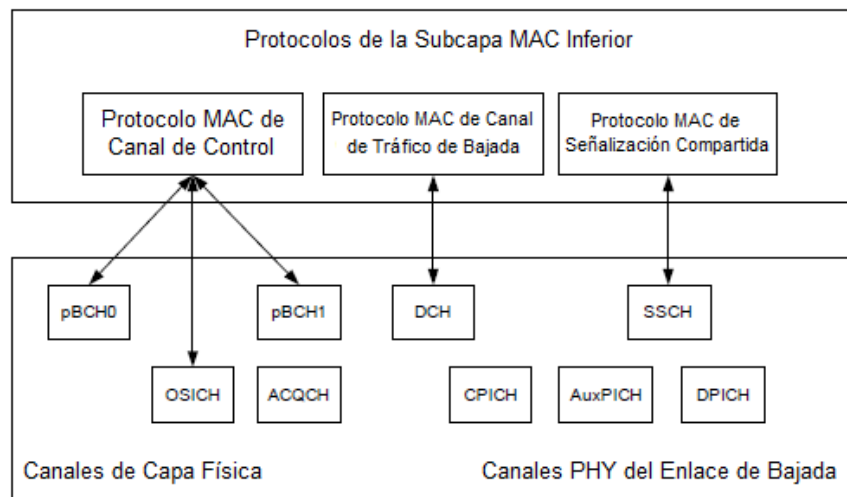


Figura 2.47: Estructura de los Canales del Enlace de Bajada

## Canales Físicos de Subida

Las jerarquías y relaciones entre los protocolos de la Subcapa MAC Inferior y los Canales de Capa Física para el enlace de subida se muestran en la Figura 2.48.

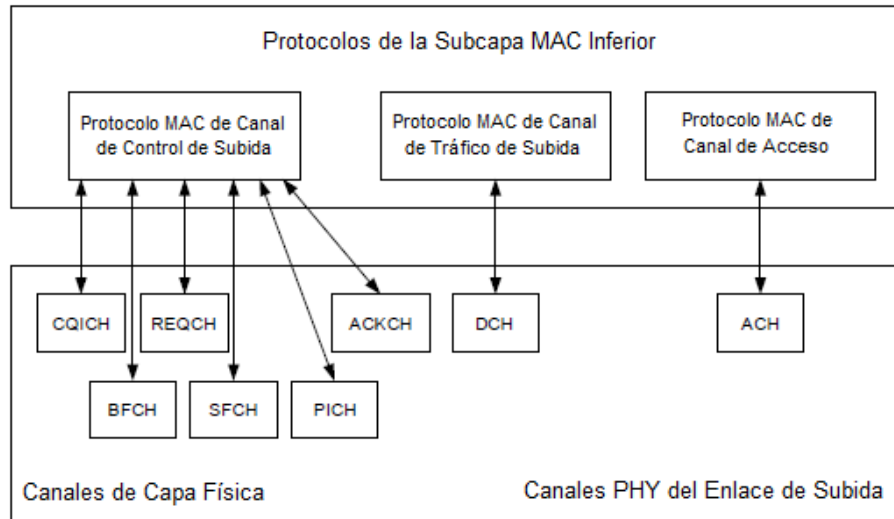


Figura 2.48: Estructura de los Canales del Enlace de Subida

- **Canal de Acceso de Subida (R-ACH):** Canal utilizado por los terminales de acceso para iniciar una comunicación con la red de acceso. Este canal es también utilizado por los terminales de acceso para obtener correcciones en la temporización.
- **Canal de Acuse de Recibo de Subida (R-ACKCH):** Transporta información de acuse de recibo de la recepción de las transmisiones realizadas sobre el Canal de Datos de Bajada.
- **Canal de Retroalimentación de Ráfaga de Subida (R-BFCH):** Transporta información acerca del índice de ráfaga y de la calidad del canal utilizado para el enlace de bajada.
- **Canal Indicador de Calidad del Canal de Subida (R-CQICH):** Este canal transporta información acerca de la calidad del canal de enlace de bajada de un sector tal y como es recibido por el terminal de acceso. Además transporta información acerca del sector de servicio deseado para el enlace de bajada.
- **Canal de Datos de Subida (R-DCH):** Canal encargado del transporte de información desde el AT hacia la AN. Este canal es asignado a un AT determinado por medio de una asignación del canal F-SSCH.

- **Canal Piloto de Subida (R-PICH):** Tiene la función de transportar el piloto.
- **Canal de Petición de Subida (R-REQCH):** Es el canal utilizado por el AT para realizar la solicitud de recursos cuando requiere que le sean asignados. Adicionalmente transporta información relacionada con las diferentes clases de calidad de servicio en un AT, así como información relacionada con el sector de servicio deseado para el enlace de subida.
- **Canal de Retroalimentación de Sub-banda de Subida (R-SFCH):** Transporta información relacionada con la calidad de una sub-banda perteneciente al canal del enlace de bajada[8].

De manera general, el funcionamiento de estos canales se describe a continuación.

El R-ACH es el canal utilizado por el AT para acceder a la red por primera vez, ya que cuando trata de iniciar una comunicación, inicialmente detecta un sector que se encuentre en su área de cobertura, posteriormente realiza una sincronización en tiempo y frecuencia y finalmente detecta la configuración existente en los canales de subida y de bajada.

Cuando las configuraciones son detectadas, el AT trata de acceder al sistema por medio del envío de mensajes sucesivos de sondeo que son enviados por medio del segmento de control CDMA. El encargado de transmitir estos mensajes es el Protocolo MAC de Canal de Acceso, que los envía a la Capa Física para que esta se encargue del envío hacia la AN.

El R-ACH es el único canal de control perteneciente al segmento de control CDMA que hace uso de una banda de guarda y de un tiempo extendido de guarda para evitar que se produzcan interferencias entre diferentes sectores.

Luego de todo ese proceso, finalmente el AT accede a la red cuando recibe un mensaje de *Access Grant* enviado desde la AN utilizando el canal F-SSCH. En este mensaje el AT recibe la asignación del MAC ID y los recursos que le son asignados, junto con otros comandos de ajuste de tiempo que le permiten ortogonalizar su transmisión con respecto a las transmisiones de los otros AT.

Los canales de control de bajada tienen entre otras las funciones de asignar y manejar recursos, transmitir mensajes de Aceptación de Acceso a los AT que están tratando de acceder a la red, entregar mensajes de acuse de recibo o ACK, enviar comandos de control de potencia para el enlace de subida y enviar indicaciones de posibles interferencias con

otros sectores. Todos los canales de control se unen en un solo canal compartido para la señalización del enlace de bajada, ese canal es el F-SSCH, que por la información que transporta necesariamente tiene que estar presente en cada trama PHY.

Todos los canales de control de subida mencionados anteriormente, a excepción del R-ACKCH, son transmitidos sobre un segmento de control CDMA y ocupando un número entero de sub-bandas contiguas en un enlace de subida. La utilización de CDMA en el segmento de control proporciona beneficios, ya que debido a su uso, los recursos no se reservan para todos los canales durante todo el tiempo.

En una red con sincronismo, varios sectores pueden tener un mismo segmento común de control CDMA, lo que posibilita la existencia de múltiples sectores activos en los *Active Sets*, haciendo posible un mecanismo de *handoff* rápido y eficaz.

El segmento de control CDMA ocupa un conjunto contiguo de subportadoras, conjunto que siempre es múltiplo de 128, en cualquier instante de tiempo y ocupando cualquier intervalo a lo largo de todo el ancho de banda del enlace de subida.

Cada uno de los canales de control lleva información con un máximo de longitud de 10 bits, y en caso de que el número de bits sea menor a 10, los bits restantes son completados con ceros (0); lo que permite que se reduzca la complejidad del receptor en la AN y que por ende mejore el desempeño en la recepción. Cada uno de los bloques de 10 bits son mapeados como una secuencia de *Walsh* de tamaño 1024[11].

Los códigos o secuencias de *Walsh* son un conjunto de secuencias ortogonales que cuentan con una correlación de cruce de cero entre ellas. Los códigos ortogonales son utilizados en sistemas CDMA de manera que a cada usuario se le asigna una secuencia diferente para realizar el esparcimiento de las señales y evitar una posible interferencia entre diferentes usuarios. Un conjunto de códigos *Walsh* de longitud  $n$  consiste en una matriz de  $n \times n$ , donde cada fila o columna de la matriz es un código *Walsh*.

$$W_1 = (0)$$

$$W_{2n} = \begin{Bmatrix} W_n & W_n \\ W_n & \overline{W_n} \end{Bmatrix}$$

La matriz mostrada anteriormente es la que se utiliza para generar códigos *Walsh*, y se

define de manera recursiva tal y como se muestra en la matriz anterior; en la cual  $n$  es una potencia de 2, y el último elemento de la matriz es el inverso o complemento de la matriz  $n$ .

Por ejemplo, la formación de una matriz *Walsh* se da de la siguiente manera.

$$W_2 = \begin{Bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 1 \end{Bmatrix}$$

$$W_4 = \begin{Bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 0 \end{Bmatrix}$$

A partir de la fila o columna 0 se obtiene un código o secuencia de *Walsh*, ya que como puede observarse, en ambas se encuentra la secuencia 0000; de igual forma en la fila y columna 1 se cuenta con la misma secuencia, en este caso, 0101. De esa manera, siguiendo con el mismo patrón, de cada fila o columna correspondiente se obtiene un código de *Walsh* diferente[12].

### 2.1.3.2. Estructura de la Trama FDD

#### Numerología Básica para FDD

Las transmisiones en los dos enlaces de un sistema MBWA *Wideband* están divididas en unidades de símbolos OFDM. Se definen tres tamaños para la Transformada Rápida de Fourier (FFT), estos tamaños son de 512, 1024 y 2048 muestras.

La FFT se utiliza para transformar el contenido en tiempo de las subportadoras a su correspondiente en el dominio de la frecuencia para determinar su contenido espectral. El objetivo de aplicar la Transformada Rápida de Fourier es asegurar la ortogonalidad entre las subportadoras, con lo cual se evita la interferencia intersímbolos que consiste en el solapamiento de los últimos bits contenidos en una subportadora con los primeros bits de la siguiente; y la interferencia interportadora que es el solapamiento de canales adyacentes.

Cada tamaño de FFT corresponde a una diferente tasa de *chip*, las cuales son elegidas



de tal manera que los tres tamaños de FFT tengan el mismo espaciamiento subportadora de 9.6 KHz. La tasa de chip es el número de pulsos por segundo con el cual el código es transmitido o recibido, y se mide en unidades de chips por segundo.

**Tabla 2.4: Numerología Básica para FDD**

Parámetros	512 FFT	1024 FFT	2048 FFT	Unidades
Tasa de chip	4.9152	9.8304	19.6608	Mcps
Espaciado entre Subportadoras	9.6	9.6	9.6	KHz
Ancho de Banda de Operación	$\leq 5$	$\leq 10$	$\leq 20$	MHz
Portadoras de Guarda	Función del Ancho de Banda			
Prefijo Cíclico	6.51 - 26.04			us
Duración de Ventanas	3.26			us
Duración de Símbolo OFDM (para un PC de 6.51 us)	113.93			us

Un sistema MBWA soporta operaciones con anchos de banda flexibles construidos a partir de las tres diferentes tasas de chip utilizadas. La Tabla 2.4 muestra los valores de duración del prefijo cíclico y del símbolo OFDM para los diferentes tamaños de FFT y de tasa de chip. Cabe destacar que la duración del Símbolo OFDM no depende del ancho de banda de operación[8].

### Estructura de la Trama FDD

La unidad de transmisión de los enlaces de subida y de bajada son las supertramas, las cuales a su vez se dividen en unidades de Tramas PHY o Tramas de Capa Física. La estructura de trama del sistema MBWA define la temporización de las Tramas PHY del enlace de bajada y de subida dentro de una supertrama; y adicionalmente, entrega los parámetros para la temporización relativa a las asignaciones, acuses de recibo y retransmisiones H-ARQ asociadas con un paquete de datos.

H-ARQ es una combinación de codificación de canal por medio de códigos FEC y de detección de errores utilizando un método ARQ para el control de los mismos. La Petición Automática de Reenvío Híbrida utiliza los códigos FEC para corregir bits con error que sean detectados en la recepción, y al mismo tiempo, hace uso del método ARQ para la detección de datos con errores incorregibles y el consiguiente reenvío de dichos datos.

Esta estructura de tramas está diseñada para minimizar la latencia en la transmisión de datos mientras se mantiene duraciones de procesamiento aceptables para los procesos de codificación y decodificación tanto en el terminal de acceso como en el punto de acceso.

Tal como puede observarse en la Figura 2.49 la supertrama del enlace de bajada está formada por un preámbulo de supertrama seguido por 24 Tramas PHY de enlace de bajada y la supertrama del enlace de subida está formada por 24 Tramas PHY de enlace de subida sin ningún preámbulo. El preámbulo de supertrama transporta las secuencias de adquisición más algunos parámetros clave de *overhead* que habilitan al AT para recibir los canales de control del enlace de bajada, y subsecuente hacer posible el acceso del mismo al sistema.

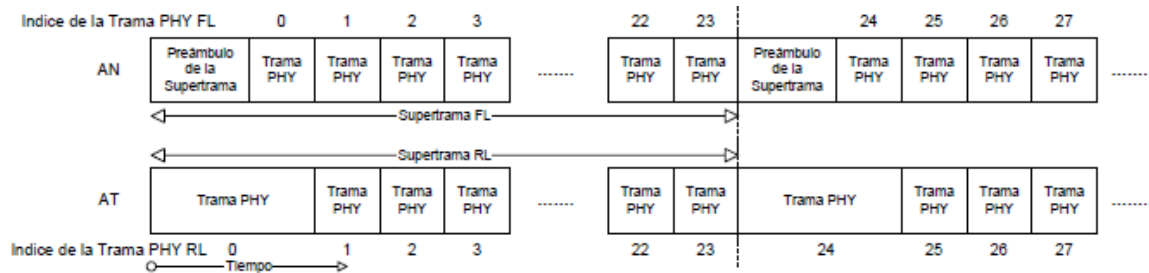


Figura 2.49: Estructura de una Supertrama FDD

Nótese que la primera Trama PHY de cada supertrama del enlace de subida tiene una longitud extendida equivalente a la duración de una Trama PHY normal más el preámbulo de supertrama del enlace de bajada, esto con el objetivo de asegurar la alineación en tiempo entre los enlaces de bajada y de subida.

Tabla 2.5: Numerología de Supertrama FDD

Parámetro	Valor	Unidad
Duración de Trama PHY	8	Símbolos OFDM
	911.46	us
Duración de Preámbulo de Supertrama	8	Símbolos OFDM
	1.07	ms
Duración de Supertrama	24	Tramas PHY
	22.94	ms
Número de Entrelazados H-ARQ (Enlace de Bajada y Enlace de Subida)	6	
Intervalo de Retransmisión (Enlace de Bajada y Enlace de Subida)	6	Tramas PHY
	5.47	ms

La Tabla 2.5 muestra la duración de las Tramas PHY y de las supertramas en el sistema. Es importante destacar que dicha duración está en función de la longitud del prefijo cíclico, el cual es un parámetro flexible que puede variar. Para los valores de la Tabla 2.5, se considera un prefijo cíclico de 6.25 us, valor que se considera nominal y que

será utilizado siempre que se mencione otros números relacionados con la estructura de la trama, como por ejemplo el intervalo de retransmisión[8].

### Estructura Entrelazada H-ARQ

Las transmisiones de datos tanto del enlace de bajada como de subida soportan H-ARQ. Para proporcionar un procedimiento de transmisión H-ARQ en el punto de acceso y en el terminal de acceso se utiliza una estructura de seis entrelazados tanto para el enlace de bajada como de subida.

Los tiempos de transmisión asociados con uno de los seis entrelazados se muestran en la Figura 2.50 para el enlace de bajada y en la Figura 2.51 para el enlace de subida. Los tiempos de los otros entrelazados son los mismos, pero con todas las transmisiones desplazadas por el mismo número de Tramas PHY.

Esta estructura de entrelazado ignora la presencia del preámbulo de supertrama, ya que la temporización en la transmisión a nivel de Tramas PHY ocurre como si el preámbulo de supertrama no estuviera presente en el enlace de bajada y como si la primera Trama PHY del enlace de subida no tuviera una longitud extendida.

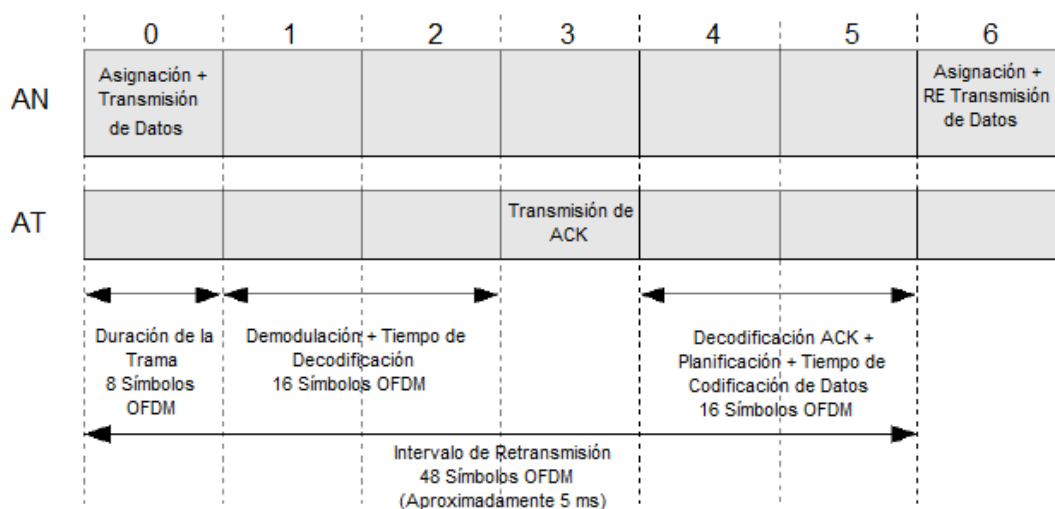


Figura 2.50: Tiempos de Transmisión H-ARQ del Enlace de Bajada

En el caso del enlace de bajada, esta estructura de trama proporciona una latencia de retransmisión H-ARQ de aproximadamente 5.5 milisegundos con un tiempo de procesamiento de 1.8 milisegundos, equivalente a la duración de 2 Tramas PHY, tanto en el AT como en el AP.

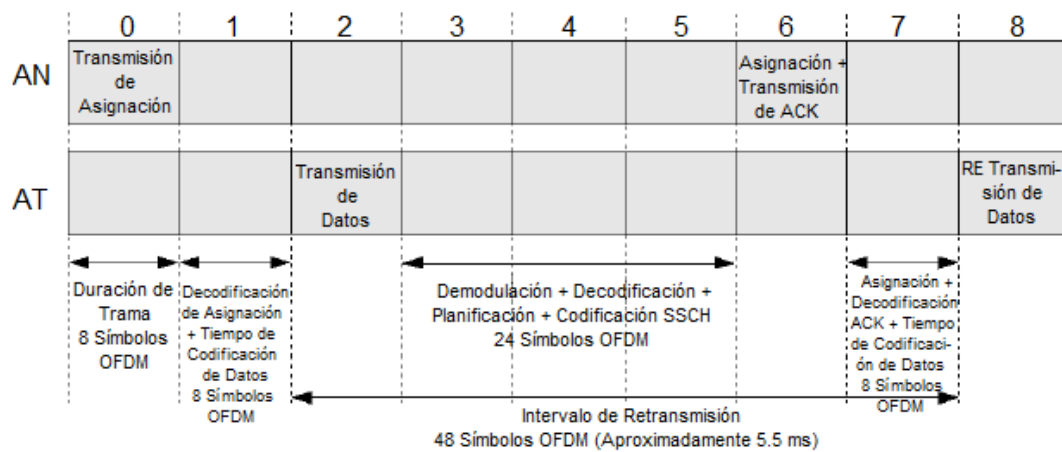


Figura 2.51: Tiempos de Transmisión H-ARQ del Enlace de Subida

La estructura de trama en el enlace de subida proporciona la misma latencia de retransmisión H-ARQ que en el enlace de bajada, pero modifica el tiempo de procesamiento, que para el caso del AT se reduce a 0.9 milisegundos (duración equivalente a 1 Trama PHY) y para el caso del AP aumenta a 2.7 milisegundos (duración equivalente a 3 Tramas PHY). El tiempo reducido de procesamiento en el AT es apropiado para el enlace de subida puesto que el AT solamente necesita llevar a cabo la demodulación de la asignación y la codificación y modulación de los paquetes de datos, tareas que son más simples que la demodulación de los paquetes de datos que son transmitidos[8].

### Estructura Entrelazada H-ARQ para Asignaciones de Duración de Transmisión Extendida

Además de la estructura de entrelazado H-ARQ estándar, el sistema soporta el uso de asignaciones de “duración de transmisión extendida”. Estas asignaciones extienden la transmisión sobre múltiples Tramas PHY y alteran los tiempos de transmisiones y las correspondientes transmisiones de acuse de recibo relacionadas a las asignaciones estándar o tradicionales.

Las asignaciones de duración de transmisión extendida son particularmente útiles para usuarios con un presupuesto limitado en el enlace, los cuales pueden beneficiarse a partir de transmisiones codificadas con una duración de transmisión mayor. Estas asignaciones extendidas crean potenciales colisiones con las asignaciones estándar al momento de asignar recursos, por lo que la red de acceso debe manejar adecuadamente la asignación de recursos en la búsqueda de prevenir dichas colisiones.

Esta estructura de trama proporciona una latencia de retransmisión H-ARQ de 11 milisegundos en el enlace de bajada y un tiempo de procesamiento de 1.8 milisegundos (duración de 2 Tramas PHY) tanto en el AT como en el AP. Los tiempos de transmisión H-ARQ de asignación extendida para el enlace de bajada se muestran en la Figura 2.52.



Figura 2.52: Tiempos de Retransmisión H-ARQ Extendida para el Enlace de Bajada

En el enlace de subida, la estructura de trama proporciona una latencia de retransmisión H-ARQ de 11 milisegundos con un tiempo de procesamiento de 1.8 milisegundos (duración de 2 Tramas PHY) en el AT y de 2.7 milisegundos (duración de 3 Tramas PHY) en el AP. Los tiempos de transmisión H-ARQ de asignación extendida para el enlace de subida se muestran en la Figura 2.53[8].

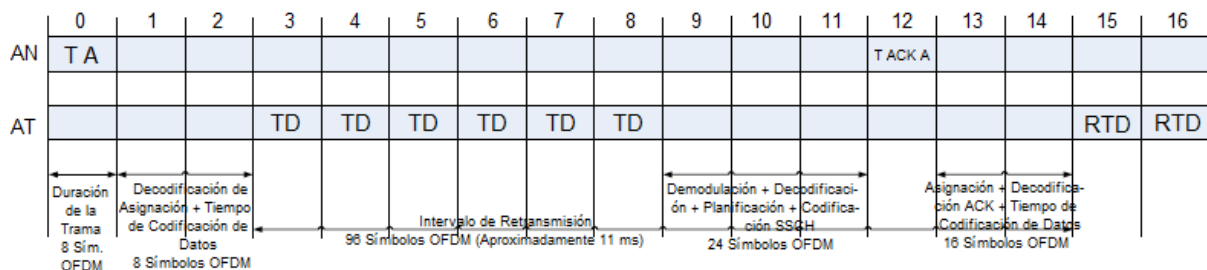


Figura 2.53: Tiempos de Retransmisión H-ARQ Extendida para el Enlace de Subida

### Periodicidad de los Canales de Control

El canal de control del enlace de bajada se conoce como Canal de Señalización Compartida (SSCH) y transmite los mensajes de asignación de recursos, los comandos de control de potencia, y los acuses de recibo para el H-ARQ del enlace de subida.

El canal SSCH es enviado en cada Trama PHY siguiendo los tiempos de transmisión para asignación de recursos y acuses de recibo que fueron descritos anteriormente en la estructura de la trama. Los comandos de control de potencia utilizan una parte de los recursos del canal SSCH y tienen la misma periodicidad que el segmento de control del

enlace de subida, es decir una periodicidad nominal de 5.5 ms y una consiguiente tasa de control de potencia de aproximadamente 180 Hz.

Los canales de control del enlace de subida son los canales de retroalimentación incluyendo el canal CQICH para indicaciones de calidad de canal y soporte de *handoff*, el SFCH para el soporte de planificación de sub-banda y el BFCH para el soporte de *beamforming* y SDMA. También se encuentran incluidos el canal REQCH para el reparto de peticiones de recursos, un canal piloto de banda ancha, y el canal de acuse de recibo ACKCH para permitir el soporte de H-ARQ en el enlace de bajada.

La periodicidad del canal ACKCH se determina de acuerdo a los tiempos de transmisión de H-ARQ para el enlace de bajada, mientras que los restantes canales de control del enlace de subida, son transmitidos en lo que se conoce como segmento de control, el cual es un recurso en el enlace de subida que se limita a una sola Trama PHY.

El segmento de control normalmente se encuentra disponible una vez cada 6 Tramas PHY con una periodicidad de 5.5 ms, sin embargo, la red puede controlar la periodicidad de las transmisiones sobre el segmento de control con el objetivo de administrar las cargas totales sobre él[8].

### 2.1.3.3. Estructura de la Trama TDD

#### Numerología Básica para TDD

Las transmisiones en los dos enlaces de un sistema MBWA *Wideband* están divididas en unidades de símbolos OFDM. Se definen tres tamaños para la Transformada Rápida de Fourier (FFT), estos tamaños son de 512, 1024 y 2048 muestras.

Cada tamaño de FFT corresponde a una diferente tasa de *chip*, las cuales son elegidas de tal manera que los tres tamaños de FFT tengan el mismo espaciamiento subportadora de 9.6 KHz.

Un sistema MBWA soporta operaciones con anchos de banda flexibles construidos a partir de las tres diferentes tasas de chip utilizadas. La Tabla 2.6 muestra los valores de duración del prefijo cíclico, del símbolo OFDM para los diferentes tamaños de FFT y de tasa de chip, y los tiempos de guarda para las transiciones del enlace de bajada al enlace de subida y viceversa. Cabe destacar que la duración del Símbolo OFDM no depende del

ancho de banda de operación[8].

**Tabla 2.6: Numerología Básica para TDD**

Parámetros	512 FFT	1024 FFT	2048 FFT	Unidades
Tasa de chip	4.9152	9.8304	19.6608	Mcps
Espaciado entre Subportadoras	9.6	9.6	9.6	KHz
Ancho de Banda de Operación	$\leq 5$	$\leq 10$	$\leq 20$	MHz
Portadoras de Guarda	Función del Ancho de Banda			
Prefijo Cíclico	6.51 - 26.04			us
Duración de Ventanas	3.26			us
Duración de Símbolo OFDM (para un PC de 6.51 us)	113.93			us
Tiempo de Guarda (FL a RL)	78.12			us
Tiempo de Guarda (RL a FL)	16.28			us

### Estructura de la Trama TDD

La unidad de transmisión de los enlaces de subida y de bajada son las supertramas, las cuales a su vez se dividen en unidades de Tramas PHY o Tramas de Capa Física. La estructura de trama del sistema MBWA define la temporización de las Tramas PHY del enlace de bajada y de subida dentro de una supertrama; y adicionalmente, entrega los parámetros para la temporización relativa a las asignaciones, acuses de recibo y retransmisiones H-ARQ asociadas con un paquete de datos.

Esta estructura de tramas está diseñada para minimizar la latencia en la transmisión de datos mientras se mantiene duraciones de procesamiento aceptables para los procesos de codificación y decodificación tanto en el terminal de acceso como en el punto de acceso.

El sistema soporta un modo general M:N de particionamiento TDD, en donde M:N es la relación entre la duración de la transmisión del enlace de bajada y la duración de la transmisión del enlace de subida. Inicialmente se describirá la estructura del particionamiento TDD 1:1 para ilustrar el concepto de manera más clara, y a continuación se describe una estructura generalizada para cualquier particionamiento M:N.

La Tabla 2.7 muestra la duración específica de las Tramas PHY y de las supertramas en sistemas con particionamiento 1:1 y 2:1. Al igual que en las tramas FDD, la duración depende del valor asignado al prefijo cíclico, aunque para los valores de la Tabla 2.7 se considera el valor de prefijo cíclico nominal especificado en la estructura FDD[8].

**Tabla 2.7: Numerología de Supertrama TDD**

Parámetro	TDD 1:1	TDD 2:1	Unidades
Duración de Trama PHY	8	8	Símbolos OFDM
	911.46	911.46	us
Duración de Preámbulo de Supertrama	8	8	Símbolos OFDM
	1.07	1.07	ms
Duración de Supertrama	24	24	Tramas PHY
	24.08	23.70	ms
Número de Entrelazados H-ARQ (E. de Bajada / E. de Subida)	3/3	5/2	
Intervalo de Retransmisión (E. de Bajada / E. de Subida)	6/6	(7 u 8)/6	Tramas PHY
	5.75/5.75	(6.57 o 7.57)/5.66	ms

### Particionamiento TDD 1:1

En este caso la relación de particionamiento TDD es de uno a uno, es decir que por cada Trama PHY que se envía desde la red de acceso por el canal de bajada se envía también una Trama PHY desde el terminal de acceso por medio del canal de subida. De aquí se deduce que para cualquier particionamiento M:N, el valor de M corresponde al número de Tramas PHY de enlace de bajada que se envían en una supertrama alternadas con un número N de Tramas PHY de enlace de subida que son transmitidas en los intervalos de tiempo en los cuales no existe una transmisión en el enlace de bajada.

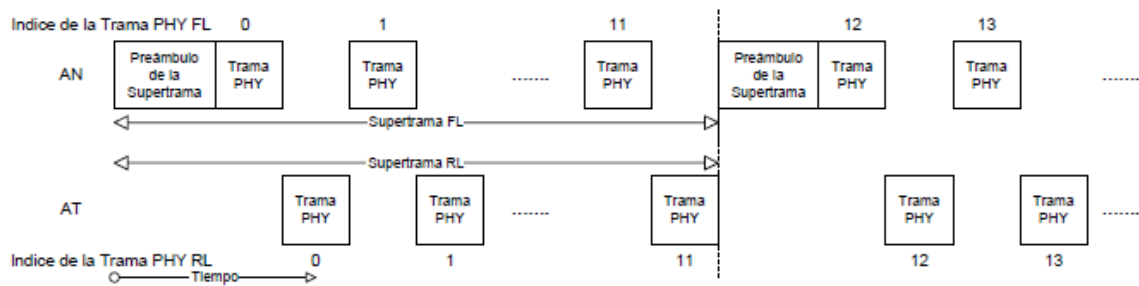
En otras palabras, el proceso es el siguiente: el sistema transmite M tramas del enlace de bajada, detiene la transmisión sobre dicho enlace y a continuación realiza el envío de N tramas correspondientes al enlace de subida; finalizada esta transmisión nuevamente habilita el envío sobre el enlace de bajada de un número M de Tramas PHY, y así sucesivamente se realizan las transmisiones de manera alternada de M tramas del enlace de bajada y N tramas del enlace de subida.

En cuanto a la estructura de las tramas para este particionamiento específico, la supertrama del enlace de bajada está formada por un preámbulo de supertrama seguido por 12 Tramas PHY, mientras que la supertrama del enlace de subida está formada solamente por 12 Tramas PHY sin la presencia del preámbulo que se incluye en la supertrama de bajada. Este preámbulo es igual al que se incluye en las supertramas FDD y tiene exactamente la misma funcionalidad.

La Figura 2.54 muestra la estructura de una supertrama TDD para el modo de



particionamiento 1:1.



**Figura 2.54: Estructura de una Supertrama TDD con particionamiento 1:1**

En la numerología de la supertrama TDD se mencionaba que la duración de una supertrama es de 24 Tramas PHY, esta es la razón por la cual en el enlace de bajada y en el enlace de subida se transmiten 12 Tramas PHY en cada uno. De manera general para cualquier relación de particionamiento, el número de Tramas PHY enviadas por el enlace de bajada sumado con el número de Tramas PHY enviadas por el enlace de subida dan un total de 24, de tal manera que se cumpla que la duración de cada supertrama es de 24 Tramas PHY[8].

### Estructura Entrelazada H-ARQ para un Particionamiento TDD 1:1

Las transmisiones de datos tanto del enlace de bajada como de subida soportan H-ARQ. Para proporcionar un procedimiento de transmisión H-ARQ en el punto de acceso y en el terminal de acceso se utiliza una estructura de tres entrelazados tanto para el enlace de bajada como de subida.

Los tiempos de transmisión asociados con uno de los tres entrelazados se muestran en la Figura 2.55 para el enlace de bajada y en la Figura 2.56 para el enlace de subida. Los tiempos de los otros entrelazados son los mismos, pero con todas las transmisiones desplazadas por el mismo número de Tramas PHY.

Se debe mencionar también que esta estructura de entrelazado ignora la presencia del preámbulo de supertrama, ya que la temporización en la transmisión a nivel de Tramas PHY ocurre como si el preámbulo de supertrama no estuviera presente.

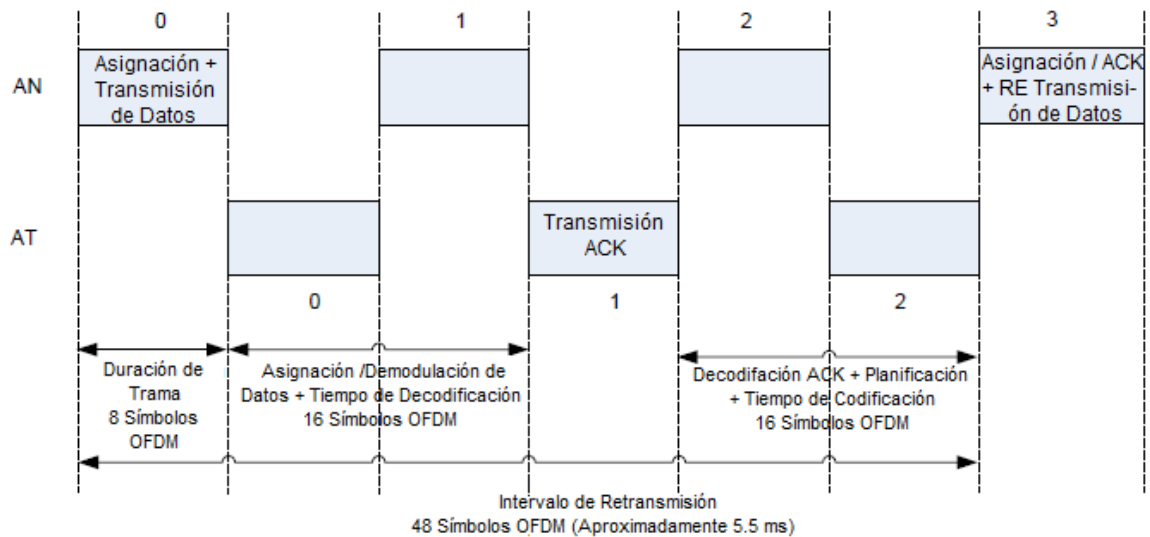


Figura 2.55: Tiempos de Transmisión H-ARQ del Enlace de Bajada para TDD 1:1

La estructura de trama de la Figura 2.55 hace posible una latencia de retransmisión de aproximadamente 5.5 milisegundos con un tiempo de procesamiento, tanto en el AT como en el AP, de 1.8 milisegundos, equivalente a la duración de 2 Tramas PHY.

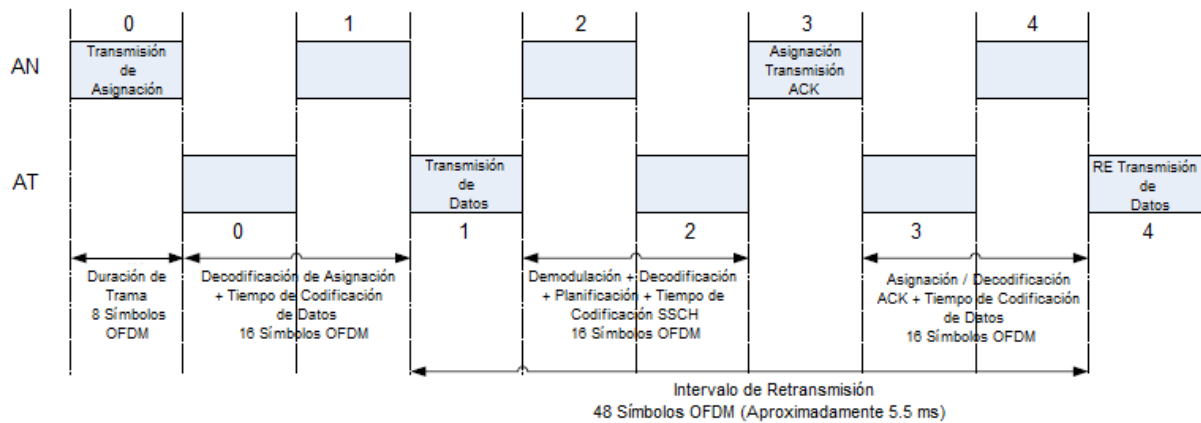


Figura 2.56: Tiempos de Transmisión H-ARQ del Enlace de Subida para TDD 1:1

Tanto el tiempo de latencia como de procesamiento es exactamente igual para la estructura de trama H-ARQ del enlace de subida mostrado en la Figura 2.56[8].

### Estructura de Trama TDD Generalizada para Particionamientos M:N

De manera general, el sistema soporta una operación TDD con transmisiones de M Tramas PHY del enlace de bajada seguidas por N Tramas PHY del enlace de subida, o lo que es lo mismo, particionamiento M:N. En este contexto, a los grupos de Tramas PHY

transmitidas de manera consecutiva, ya se en el enlace de bajada o en el de subida, se les denomina ráfagas[8].

La Figura 2.57 muestra la estructura de trama para un particionamiento TDD M:N.

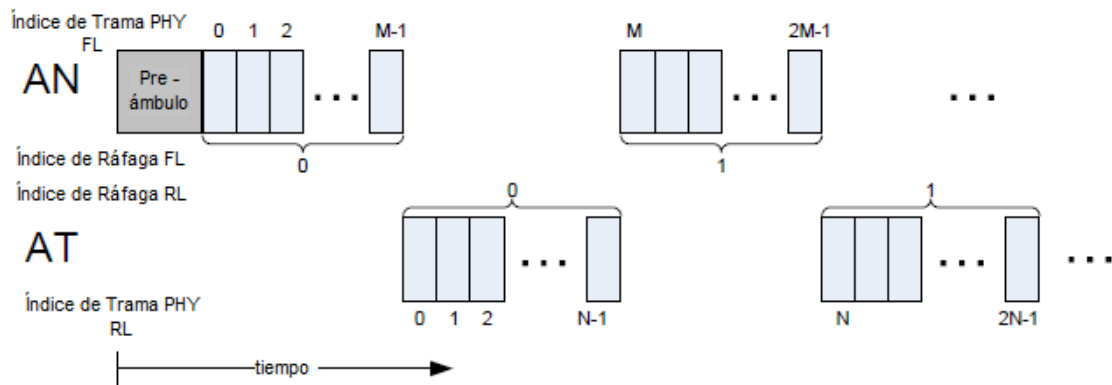


Figura 2.57: Estructura de Trama TDD con particionamiento M:N

### Periodicidad de los Canales de Control

El canal de control del enlace de bajada se conoce como Canal de Señalización Compartida (SSCH) y transmite los mensajes de asignación de recursos, los comandos de control de potencia, y los acuses de recibo para el H-ARQ del enlace de subida.

El canal SSCH es enviado en cada Trama PHY siguiendo los tiempos de transmisión para asignación de recursos y acuses de recibo que fueron descritos anteriormente en la estructura de la trama. Los comandos de control de potencia utilizan una parte de los recursos del canal SSCH y tienen la misma periodicidad que el segmento de control del enlace de subida, es decir una periodicidad nominal de 5.5 ms y una consiguiente tasa de control de potencia de aproximadamente 180 Hz para un modo de particionamiento TDD 1:1.

Los canales de control del enlace de subida son los canales de retroalimentación incluyendo el canal CQICH para indicaciones de calidad de canal y soporte de *handoff*, el SFCH para el soporte de planificación de sub-banda y el BFCH para el soporte de *beamforming* y SDMA. También se encuentran incluidos el canal REQCH para el reparto de peticiones de recursos, un canal piloto de banda ancha, y el canal de acuse de recibo ACKCH para permitir el soporte de H-ARQ en el enlace de bajada.

La periodicidad del canal ACKCH se determina de acuerdo a los tiempos de transmisión

de H-ARQ para el enlace de bajada, mientras que los restantes canales de control del enlace de subida, son transmitidos en lo que se conoce como segmento de control, el cual es un recurso en el enlace de subida que se limita a una sola Trama PHY.

Para un modo de particionamiento TDD 1:1, el segmento de control normalmente se encuentra disponible una vez cada 6 Tramas PHY con una periodicidad de 5.5 ms, sin embargo, la red puede controlar la periodicidad de las transmisiones sobre el segmento de control con el objetivo de administrar las cargas totales sobre él[8].

### 2.1.3.4. Codificación y Modulación

En esta sección se describen los principales aspectos de los procedimientos y esquemas de codificación y modulación utilizados para el sistema propuesto MBWA *Wideband*, esquemas que deben ser utilizados para la construcción de varios canales de Capa Física. La Figura 2.58 muestra toda la estructura de los procesos de codificación y modulación que son llevados a cabo, la misma que es común para los enlaces de bajada y de subida.

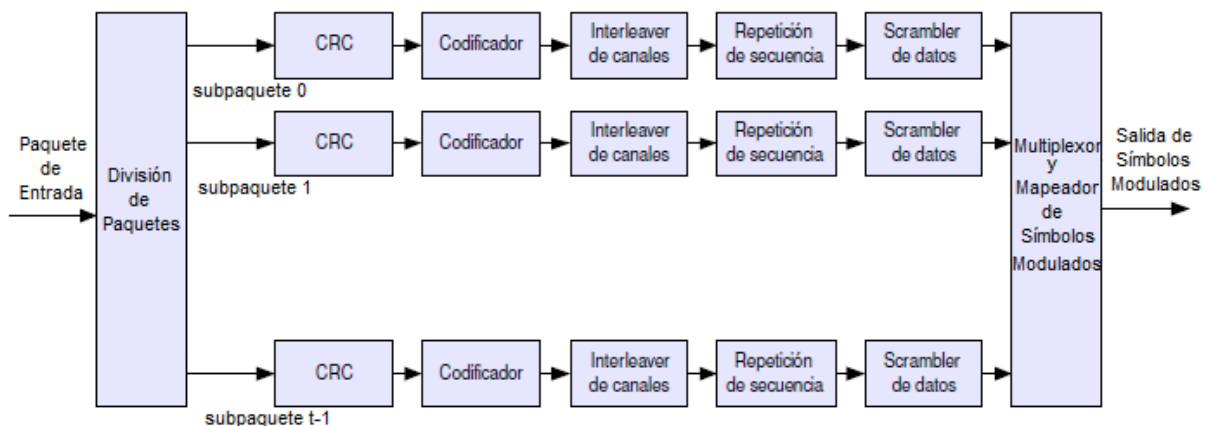


Figura 2.58: Estructura de Codificación y Modulación

Como puede observarse en la Figura 2.58 el esquema está conformado por los procesos de División de Paquetes, Inserción de CRC, Codificación, *Interleaving* de Canal, Repetición de Secuencia, *Scrambling* de Datos y Modulación; procesos que en conjunto constituyen un método para convertir un paquete de  $k$  bits de longitud en secuencias de símbolos modulados, una secuencia por cada subpaquete, para cualquier valor de  $k$  que no exceda el tamaño máximo de subpaquete permitido y que sea a su vez un número múltiplo de ocho. El tamaño máximo de subpaquete es un dato público del Protocolo de Gestión de *Active Set*.

La división de paquetes se aplica para los canales de datos de subida y de bajada, así como también para los canales de *broadcast* de bajada. Los paquetes de entrada son convertidos en uno o más subpaquetes para su transmisión, y la secuencia de inserción de CRC, codificación, *interleaving* de canal, repetición de secuencia, y operaciones de *scrambling* de datos deben ser llevados a cabo de manera independiente para cada subpaquete. Todos los canales además de los mencionados anteriormente deben utilizar una sola secuencia de todos los procesos[6].

## Codificación de Canal

### División de Paquetes e Inserción de CRC

Cuando se recibe un paquete con un tamaño  $k$  que es mayor al máximo tamaño de subpaquete permitido, entonces el paquete debe ser dividido en un número  $t$  de subpaquetes, número que se obtiene de la división del tamaño total  $k$  para el tamaño máximo permitido para cada subpaquete.

De manera general la idea consiste en separar un paquete en  $t$  subpaquetes de menor tamaño, identificados con índices que van desde  $0$  hasta  $t-1$ , y que son posteriormente codificados por separado. Esto hace posible que diferentes unidades de decodificadores turbo operen en los diferentes subpaquetes en paralelo haciendo posible que la velocidad de decodificación aumente.

A cada subpaquete se le asigna su propio CRC con el objetivo de facilitar la detección de errores y mejorar aún más el desempeño de la decodificación. Todos los subpaquetes tienen aproximadamente el mismo tamaño, siendo el máximo tamaño posible para un subpaquete el valor de 8192 bits.

Los códigos de redundancia cíclica (CRC) son muy utilizados en la práctica para la detección de errores en largas secuencias de datos. Se basan en representar las cadenas de datos como polinomios. El emisor realiza ciertas operaciones matemáticas antes de enviar los datos. El receptor realizará, a la llegada de la transmisión, una división entre un polinomio convenido (polinomio generador). Si el resto es cero, la transmisión ha sido correcta; y si el resto es distinto significará que se han producido errores y solicitará la retransmisión al emisor.

El tratamiento que tienen los mensajes están explicados mediante planteamientos matemáticos, mas directamente de manera polinomial, ya que estos mensajes son tratados

como si fueran Polinomios, cuyos coeficientes son 1 y 0. Si se analiza un mensaje cuyo tamaño sean  $k$  bits como un polinomio cuyos exponentes estarán en el rango  $[0, k-1]$ . Un aspecto muy importante es que tanto el emisor como receptor del mensaje pongan una regla o dejen bien en claro la generación del Polinomio Generador  $G(x)$ . Es importante recalcar que el número de bits del CRC que son añadidos a cada subpaquete depende del orden del polinomio generador, por ejemplo, un polinomio generador de orden 24 producirá un CRC de 24 bits que serán añadidos al final de cada subpaquete[8].

## Codificación

El enlace de aire soporta dos estructuras básicas de codificación, una codificación turbo paralela con una tasa de  $1/5$  y una codificación convolucional con una tasa de  $1/3$ . El código turbo es utilizado para los casos en los que el valor de  $k$  es mayor a 128, mientras que el código convolucional debe utilizarse cuando los valores de  $k$  son menores o iguales a 128.

### Codificación Convolucional

Un código convolucional con una tasa de  $1/3$  es utilizado para codificar paquetes cortos con un total de bits de información igual o menor a 128. Los paquetes con tal longitud son principalmente utilizados en canales de control, aunque también pueden enviarse paquetes de estas características a través de los canales de datos, en cuyo caso, también son codificados por medio de códigos convolucionales.

Las salidas de este código convolucional pasan por un proceso de *puncturing* para lograr el número deseado de bits de salida del codificador convolucional.

El polinomio generador para este código convolucional es el que se muestra a continuación:

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

en donde,

$$\begin{aligned}
 g_0(D) &= 1 + D^2 + D^3 + D^5 + D^6 + D^7 + D^8 \\
 g_1(D) &= 1 + D + D^3 + D^4 + D^7 + D^8 \\
 g_2(D) &= 1 + D + D^2 + D^5 + D^8
 \end{aligned}$$

La letra  $D$  que forma parte de los tres polinomios anteriores representa el operador de retardo, y las funciones generadoras para este código de tasa  $1/3$  se expresan en notación octal como:

$$\begin{aligned}
 g_0 &= 557 \\
 g_1 &= 663 \\
 g_2 &= 711
 \end{aligned}$$

Siendo por consiguiente el polinomio generador igual a :

$$G(D) = [557 \ 663 \ 711]$$

A la secuencia de bits de información se le agrega una cola de ocho bits de valor 0, y esta nueva secuencia de bits representa la entrada para el codificador convolucional.

Este código genera tres bits codificados por cada bit de entrada que ingresa al codificador, es decir que un total de  $3(k+8) = 3k + 24$  bits codificados son generados para un paquete de entrada con una longitud igual a  $k$  bits. Los bits codificados son entregados de tal manera que el bit  $c_0$  codificado con la función generadora  $g_0$  sale en primera posición, el bit  $c_1$  codificado con la función generadora  $g_1$  sale a continuación en segunda posición, y el bit  $c_2$  codificado con la función generadora  $g_2$  sale en tercera y última posición.

El estado del codificador convolucional después de la inicialización debe ser el estado todo cero, y el primer bit que sale del codificador después de una inicialización debe ser el bit codificado con la función generadora  $g_0[6]$ .

La profundidad o tamaño total de un código convolucional, expresado en términos de los bits de mensaje, se define como el número de desplazamientos en los que influye un bit de mensaje en la salida codificada. Si un codificador tiene un registro de desplazamiento de  $M$  estados, la memoria del codificador es  $M$ , y se necesitan  $K=M+1$  desplazamientos para

que un bit de mensaje entre y salga finalmente; por lo tanto la profundidad del codificador es  $K$ . De esta manera, a partir de mismo razonamiento, se deduce que la longitud del retardo en la secuencia de datos es igual a  $K-1$  [13].

La Figura 2.59 muestra el codificador convolucional de tamaño  $K=9$  y tasa  $1/3$  que se utiliza en los sistemas MBWA.

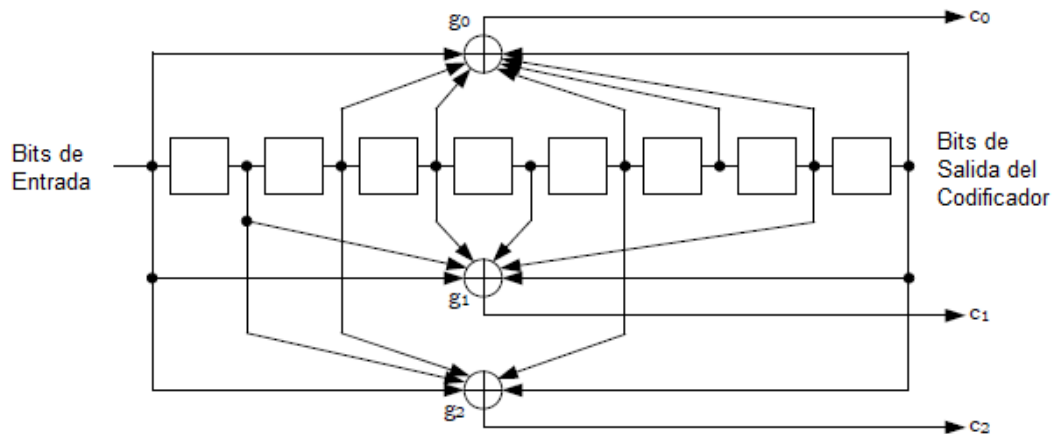


Figura 2.59: Codificador Convolucional de Tamaño  $K=9$  y Tasa  $1/3$

### Codificación Turbo

Un código turbo con una tasa igual a  $1/5$  es utilizado para codificar paquetes o subpaquetes en los cuales el número de bits de información es mayor a 128, y que por consiguiente no pueden ser codificados por medio de códigos convolucionales. El código turbo es una concatenación paralela de dos códigos convolucionales sistemáticos y recursivos con un *interleaver* turbo precediendo al segundo codificador convolucional recursivo. Los dos códigos convolucionales recursivos son denominados códigos constituyentes o integrantes del código turbo, y las salidas de los codificadores constituyentes del codificador turbo, pasan también por un proceso de *puncturing* para determinar el número de bits a la salida del codificador.

La función de transferencia para los códigos constituyentes del codificador turbo se muestra en la siguiente expresión:

$$G(D) = \begin{bmatrix} 1 & \frac{n_0(D)}{d(D)} & \frac{n_1(D)}{d(D)} \end{bmatrix}$$

en donde,



$$d(D) = 1 + D^2 + D^3$$

$$n_0(D) = 1 + D + D^3$$

$$n_1(D) = 1 + D + D^2 + D^3$$

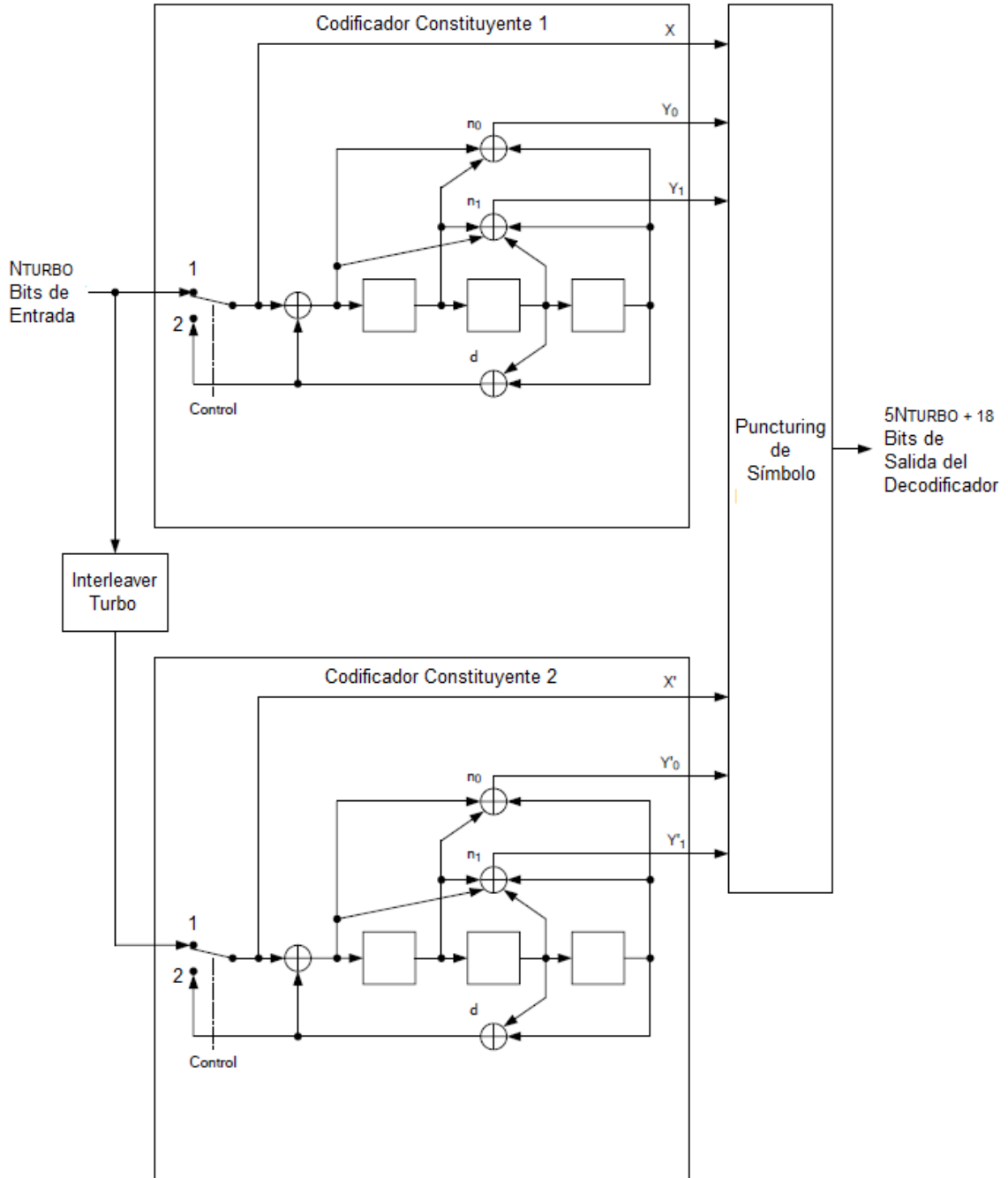


Figura 2.60: Codificador Turbo

El codificador turbo debe generar una secuencia de bits de salida como la que se

muestra en el codificador de la Figura 2.60. Inicialmente los estados de los registros de los codificadores constituyentes son configurados en cero.

El codificador turbo genera un número de  $5N_{TURBO} + 18$  bits en la salida del codificador, en donde  $N_{TURBO}$  es el número de bits de entrada al mismo. Los primeros  $5N_{TURBO}$  bits de salida del codificador deben ser generados por medio de la activación de los codificadores constituyentes una vez por cada bit de entrada al codificador con los *switches* en la posición 1 y el proceso de *puncturing* realizado sobre los bits de salida del codificador  $X'$ . La secuencia de bits de salida para cada bit de entrada al codificador debe ser  $X Y_0 Y_1 Y'_0 Y'_1$ , con el bit  $X$  como primera salida y omitiendo el bit  $X'$  que no forma parte de la secuencia de salida por ser el bit eliminado en el proceso de *puncturing*.

Los últimos 18 bits de salida del codificador se denominan bits de cola de salida. Estos bits de cola de salida deben ser generados después de que los codificadores constituyentes hayan sido activados  $N_{TURBO}$  veces con los *switches* en la posición 1.

Los primeros 9 bits de cola de salida del codificador son generados por medio de la activación en tres tiempos del Codificador Constituyente 1 con sus *switches* en la posición 2 mientras el Codificador Constituyente 2 no está activado. La secuencia de los bits de salida del codificador para cada activación del Codificador Constituyente 1 debe ser  $X Y_0 Y_1$ .

Los últimos 9 bits de cola de salida se generan con la activación en tres tiempos del Codificador Constituyente 2 con sus *switches* en la posición 2 mientras el Codificador Constituyente 1 está inactivo. La secuencia de los bits de salida del Codificador Constituyente 2 en este caso debe ser  $X' Y'_0 Y'_1$ .

Las secuencias de bits de cola aseguran que los dos codificadores constituyentes alcancen el estado inicial al final de un proceso de codificación[6].

### ***Interleaving* de Canal**

Tanto la codificación turbo como convolucional debe ser seguida por un proceso de *interleaving* de canal, el cual está formado por dos partes que hacen posible que la función de este bloque sea realizada de manera correcta; estos dos subprocesos son la demultiplexación y la permutación de bits.

## Demultiplexación de bits

La salida de bits generada por el codificador convolucional de tasa  $1/3$  debe ser re-ordenada de acuerdo a los dos siguientes criterios:

- Todos los bits de salida del codificador deben ser demultiplexados en tres secuencias que se pueden denominar  $V_0$ ,  $V_1$ ,  $V_2$ . Los bits que salen del codificador deben ser distribuidos secuencialmente entre las tres secuencias mencionadas anteriormente; es decir que el primer bit debe ser entregado a la secuencia  $V_0$ , el segundo a la secuencia  $V_1$ , el tercero a la secuencia  $V_2$ , el cuarto nuevamente a la secuencia  $V_0$ , y así sucesivamente hasta que todos los bits de salida del codificador sean demultiplexados en tres grupos.
- Las secuencias  $V_0$ ,  $V_1$ ,  $V_2$  se mantienen exactamente en ese mismo orden y no sufren ningún tipo de alteración luego de haber recibido a los bits demultiplexados.

Por otro lado, los bits que salen del codificador turbo de tasa  $1/5$ , son re-ordenados de acuerdo al siguiente procedimiento:

- Todos los bits de salida del codificador deben ser demultiplexados en cinco secuencias denominadas  $U$ ,  $V_0$ ,  $V_1$ ,  $V'_0$  y  $V'_1$ . De la misma manera que en la demultiplexación de bits realizada después de los códigos convolucionales, todos los bits que salen del codificador son distribuidos entre estas cinco secuencias.
- Los 18 bits de cola, numerados de 0 a 17, se distribuyen también secuencialmente entre las cinco secuencias de la siguiente manera: Los bits 0, 3, 6, 9, 12 y 15 van a la secuencia  $U$ , los bits 1, 4 y 7 van a la secuencia  $V_0$ , los bits 2, 5 y 8 van a la secuencia  $V_1$ , los bits 10, 13 y 16 van a la secuencia  $V'_0$  y finalmente 11, 14 y 17 van a la secuencia  $V'_1$ .
- En esta demultiplexación el orden de las secuencias sí cambia, ya que luego de la distribución de bits, el orden de las secuencias es  $U V_0 V'_0 V_1 V'_1$ [11].

## Permutación de Bits

Los bits demultiplexados deben ser permutados en tres bloques de *interleaver* independientes con una tasa de codificación de  $1/5$  y un bloque con una tasa de codificación de  $1/3$ .

Para el código turbo de tasa  $1/5$ , los bloques de entrada al permutador se forman de la siguiente manera: la secuencia  $U$  ingresa al primer bloque, la secuencia  $V_0$  seguida por la secuencia  $V'_0$  (bloque denotado como  $V_0/V'_0$ ) ingresa al segundo bloque, y la secuencia  $V_1$  seguida por la secuencia  $V'_1$  (bloque denotado como  $V_1/V'_1$ ) ingresa al tercer bloque. En el caso del codificador convolucional de  $1/3$ , la entrada al bloque *interleaver* se forma por la unión de las tres secuencias que llegan desde la demultiplexación de bits y se denota como  $V_0/V_1/V_2$ .

En este punto es cuando en realidad el sistema utiliza un *interleaver* para realizar la permutación de cada uno de los tres bloques en el caso de la codificación turbo y del único bloque que se utiliza en la codificación convolucional. La salida del *interleaver* para los bits con codificación turbo es una secuencia que resulta de la unión de los bits ya entrelazados que salen de cada uno de los tres bloques de *interleaving*, y la salida del *interleaver* para los bits codificados con el código convolucional es simplemente la secuencia de bits salida del único bloque *interleaver*  $V_0/V_1/V_2$ [6].

### Repetición de Secuencia

La secuencia de salida de bits del *interleaver* de canal debe ser repetida secuencia por secuencia tantas veces como sea necesario para proporcionar todos los bits que se necesitan para el procedimiento de modulación de ese paquete. Este procedimiento de repetición crea otra secuencia de bits que es almacenada en un *buffer* de salida que es leído secuencialmente por el modulador hasta que el número requerido de símbolos modulados haya sido generado; generalmente el número de repeticiones de la secuencia de salida del *interleaver* debe ser tal que el modulador nunca pueda alcanzar el final del *buffer* de salida mientras está generado los símbolos modulados.

El procedimiento H-ARQ en esta interfaz de aire utiliza una redundancia incremental. Una determinada fracción de los bits que han sido entrelazados en el *interleaving* son transmitidos en cada transmisión H-ARQ, con la particularidad de que la tasa de código que es apreciada por el receptor va disminuyendo a medida que se incrementa el número de retransmisiones H-ARQ. De esta manera, datos codificados con tasas inferiores a  $1/5$  se consiguen por medio de la repetición que implica la transmisión de algunos de los bits que han sido codificados por más de una ocasión. Es importante destacar que estas transmisiones repetidas se realizan solamente después de que todos los bits codificados han sido transmitidos al menos una vez[8].

## ***Scrambling* de Datos**

La secuencia de bits que sale de la etapa de repetición debe pasar ahora por el proceso de *scrambling* con el objetivo de randomizar los datos antes de la modulación.

El *scrambling* de datos se realiza de trama en trama cuando los bits codificados son sometidos a una operación XOR con una secuencia pseudoaleatoria. La secuencia pseudoaleatoria es generada utilizando un registro PN, el cual está asociado con el MAC ID del usuario para el cual está dirigida la transmisión. Este proceso de *scrambling* basado en el MAC ID evita que un usuario realice accidentalmente la decodificación de un paquete que está dirigido para otro usuario[8].

Finalmente luego de realizar esta randomización de datos, las secuencias de bits obtenidas son las que pasarán al proceso de modulación que se describe a continuación.

## **Modulación**

Las salidas del *scrambler* de datos para todos los diferentes subpaquetes deben ser dirigidas a un modulador que entrega como salidas un conjunto de números complejos conocidos como símbolos de modulación, los mismos que son modulados en las subportadoras OFDM.

La interfaz de aire en los sistemas MBWA *Wideband* soporta básicamente cuatro diferentes tipos o formatos de modulación conocidos como QPSK, 8PSK, 16QAM y 64QAM. Estos formatos de modulación se consideran modulaciones de orden superior, en los cuales el número de bits presentes en un símbolo representa el orden de la modulación; siendo las cuatro modulaciones mencionadas anteriormente de 2do., 3ro., 4to. y 6to. orden respectivamente. Tanto el número de símbolos de modulación como el formato de modulación de cada símbolo debe ser especificado en cada canal de Capa Física que se utilice para la transmisión[11].

El uso de múltiples formatos de modulación y diferentes tasas de codificación permiten que en el enlace se disponga de un rango de eficiencias espectrales, que también se conocen como formatos de paquete. El sistema soporta 15 formatos de paquete en los enlaces de bajada y de subida cuando se encuentra operando en el modo SISO; y el número de bits para la transmisión en la Capa Física está determinado por el número de subportadoras asignadas para la transmisión así como del formato de paquete que se esté utilizando.

Cuando se hace uso del mecanismo H-ARQ, se obtiene la misma eficiencia espectral para todas las transmisiones que se realizan de un paquete; aunque algunos formatos de paquete utilizan formatos de modulación de menor orden para las retransmisiones H-ARQ, en un procedimiento que se conoce como reducción de la modulación.

Debido a que la tasa de código es mayor cuando se utiliza un formato de modulación de menor orden, ya que se debe mantener la misma eficiencia espectral, la reducción de modulación ayuda a prevenir que la tasa de codificación caiga por debajo de  $1/5$  y por tanto minimiza la utilización de repeticiones y permite mejorar el desempeño del proceso.

La reducción de modulación es soportada tanto en los enlaces de bajada como de subida, tal como se puede apreciar en la Tabla 2.8, en la cual se muestran los formatos de paquete para el enlace de bajada cuando se emplea un modo de transmisión SISO[8].

**Tabla 2.8: Formatos de Paquete para el Enlace de Bajada en Modo SISO**

Índice de Formato de Paquete	Eficiencia Espectral en la 1ra. Transmisión	Número Máximo de Transmisiones	Orden de Modulación para cada Transmisión					
			1	2	3	4	5	6
0	0.2	6	2	2	2	2	2	2
1	0.5	6	2	2	2	2	2	2
2	1.0	6	2	2	2	2	2	2
3	1.5	6	3	2	2	2	2	2
4	2.0	6	4	3	3	3	3	3
5	2.5	6	6	4	4	4	4	4
6	3.0	6	6	4	4	4	4	4
7	4.0	6	6	6	4	4	4	4
8	5.0	6	6	6	4	4	4	4
9	6.0	6	6	6	4	4	4	4
10	7.0	6	6	6	4	4	4	4
11	8.0	6	6	6	6	4	4	4
12	9.0	6	6	6	6	4	4	4
13	10.0	6	6	6	6	6	4	4
14	11.0	6	6	6	6	6	4	4
15	NULO							

De modo análogo, la Tabla 2.9 presenta los formatos de paquete que son soportados en el enlace de subida[8].

Tabla 2.9: Formatos de Paquete para el Enlace de Subida

Índice de Formato de Paquete	Eficiencia Espectral en la 1ra. Transmisión	Número Máximo de Transmisiones	Orden de Modulación para cada Transmisión					
			1	2	3	4	5	6
0	0.25	6	2	2	2	2	2	2
1	0.50	6	2	2	2	2	2	2
2	1.0	6	2	2	2	2	2	2
3	1.5	6	3	2	2	2	2	2
4	2.0	6	3	3	2	2	2	2
5	2.67	6	4	4	3	3	3	3
6	4.0	6	4	4	3	3	3	3
7	6.0	6	4	4	4	3	3	3
8	8.0	6	4	4	4	4	4	3
9	4.0	6	6	6	4	4	4	4
10	5.0	6	6	6	4	4	4	4
11	6.0	6	6	6	4	4	4	4
12	7.0	6	6	6	4	4	4	4
13	8.0	6	6	6	6	4	4	4
14	9.0	6	6	6	6	4	4	4

### 2.1.3.5. Gestión y Asignación de Recursos

En esta sección se abordarán dos aspectos muy importantes para el funcionamiento del sistema, aspectos que tienen que ver con la manera en la cual los recursos de la red son asignados a los canales de datos de bajada y de subida. Estos aspectos tienen relación directa con la planificación y con la gestión que se lleva a cabo para la asignación de los diversos recursos disponibles en la red.

#### Planificación

El proceso de planificación se refiere a la asignación de subportadoras realizada con el objetivo de asegurar la eficiencia espectral en el terminal de acceso, proceso que se lleva a cabo de manera centralizada en el punto de acceso tanto para las asignaciones en el canal de bajada como de subida. El objetivo de centralizar la planificación es asegurar la asignación ortogonal de recursos para cada AT diferente en el sistema.

El objetivo de realizar una planificación de recursos es el de maximizar la capacidad

del sistema al mismo tiempo que se gestionan los requerimientos de calidad de servicio (QoS) como la latencia y el *throughput* en el AT. Adicionalmente la planificación ayuda a gestionar la calidad de los enlaces manteniendo condiciones equitativas a través de todos los AT que pueden presentar calidades de enlace muy dispares.

En el afán de conseguir los objetivos con que se realiza la planificación de recursos, la interfaz de aire pone a disposición ciertos procedimientos utilizados complementariamente a la planificación para lograr mejores resultados. Entre estos procedimientos se encuentran principalmente la planificación de sub-banda, el re-uso fraccional de frecuencias, MIMO, la pre-codificación, los enlaces de subida cuasi-ortogonales, el *beamforming*, y SDMA. Todos estos procedimientos serán explicados posteriormente en las secciones siguientes[8].

### Gestión de Asignaciones

Un sistema MBWA ha sido diseñado para soportar eficientemente un amplio rango de aplicaciones, con los correspondientes rangos de *throughput*, latencia y longitud de paquetes que se requieren para cada aplicación. Por ejemplo, el sistema ha sido diseñado para soportar tanto transmisiones de datos de alta capacidad basadas en procedimientos de mejor esfuerzo como aplicaciones de voz para muchos usuarios; evidentemente que esta gran diversidad de aplicaciones pueden ser combinadas y soportadas simultáneamente y de manera eficiente sobre la misma interfaz de aire.

Los recursos en el sistema son asignados en unidades que se denominan *hop-ports*, siendo un *hop-port* un recurso estático que ha sido asignado o mapeado a una subportadora física. Los procedimientos de salto de frecuencia son implementados por medio de asignaciones o mapeos variantes en el tiempo que se realizan desde los *hop-ports* hacia las subportadoras.

Para reducir los *overheads* de la señalización utilizada para la asignación el sistema utiliza un mecanismo de transmisiones H-ARQ sincrónico y además proporciona el soporte para asignaciones denominadas “*sticky*”. Cuando se utiliza el H-ARQ sincrónico los recursos que se asignan para retransmisiones sucesivas no son planificados independientemente, sino que más bien se mantienen para todas las retransmisiones asociadas con el paquete.

En consecuencia, la asignación de *hop-ports* también puede ser llevada a cabo en grupos, siendo la asignación de un conjunto de *hop-ports* aplicada a las estructuras entrelazadas descritas en la estructura de las tramas FDD y TDD. Las asignaciones sobre diferentes entrelazados son independientes, y un AT está en capacidad de recibir recursos en múltiples



entrelazados.

Se mencionaba anteriormente que el sistema puede utilizar las denominadas asignaciones “*sticky*”, pero hay que mencionar que este tipo de asignaciones no son las únicas que se pueden realizar, sino que adicionalmente se dispone también de asignaciones “*non-sticky*” que tienen características diferentes como se verá a continuación. Las asignaciones *sticky* son de mucha utilidad para reducir los *overheads* de asignación requeridos, lo cual es beneficioso para la planificación de múltiples usuarios simultáneamente y para la eliminación de la latencia de solicitud en las transmisiones sobre el enlace de subida.

Cuando una asignación es *non-sticky*, esta expira después de la decodificación exitosa de un paquete o, en su defecto, cuando el paquete no ha podido ser decodificado después del número máximo de retransmisiones H-ARQ permitidas para el paquete. Por el contrario, cuando las asignaciones son *sticky*, estas persisten durante todo el tiempo en el cual el recurso asignado se encuentra en uso y no expiran como las asignaciones *non-sticky*.

Se dice que una asignación está en uso durante todo el tiempo en el que un paquete o una secuencia de aseguramiento son transmitidos por medio de esa asignación. La secuencia de aseguramiento es una indicación simple de un bit que sirve para mantener activa la comunicación, ya que se encarga de informarle al receptor que la asignación debe mantenerse aún cuando un paquete de datos no se encuentre disponible para la transmisión por medio de dicha asignación. Si no se realiza la transmisión ni de paquetes ni de secuencias de aseguramiento por un periodo de tiempo la asignación expira y esos recursos son liberados y pueden considerarse para una siguiente asignación, aunque también es posible la expiración por medio del envío de un mensaje en el cual el AP solicita la finalización de la asignación.

Para reducir el *overhead* que se requiere para especificar un conjunto de *hop-ports* en el sistema, se define un espacio finito de IDs de Canal que se asigna a determinados conjuntos de *hop-ports* y que es utilizado para las comunicaciones de asignación hacia el terminal de acceso.

Debido a que las asignaciones pueden ser *sticky*, y para combatir la fragmentación de recursos en el sistema que se puede producir por la asignación finita de IDs de Canal, el sistema soporta asignaciones suplementarias que añaden conjuntos de *hop-ports* a los conjuntos que ya han sido asignados a un AT para un entrelazado. Estas asignaciones suplementarias son enviadas para aumentar las asignaciones del AT entre las transmisiones

de paquetes.

La asignación entre IDs de Canal y *hop-ports* es definida por medio de un árbol de canal, como el que se muestra en la Figura 2.61.

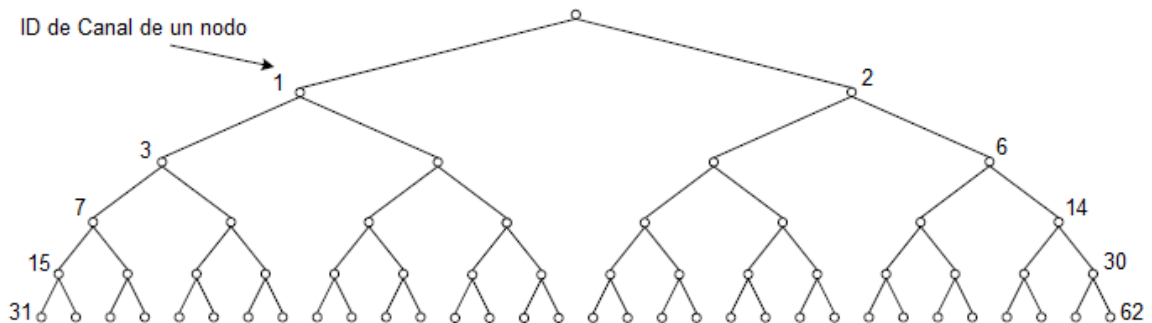


Figura 2.61: Ejemplo de un Árbol de Canal

En la Figura 2.61 se puede observar que a cada nodo en el árbol se le asigna un ID de Canal único y a cada nodo base, es decir los nodos ubicados en la parte más bajada del árbol, se le asigna un conjunto de *hop-ports*. Por consiguiente un ID de Canal direcciona hacia un conjunto de *hop-ports* determinado por los nodos base que se encuentran debajo del nodo que representa el ID de Canal[8].

### 2.1.3.6. Adquisición

#### Estructura del Preámbulo de Supertrama

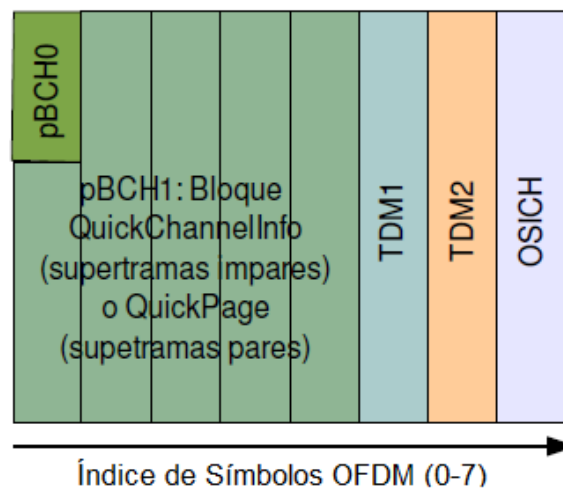


Figura 2.62: Estructura del Preámbulo de Supertrama

Tal como se describió oportunamente en la estructura de tramas FDD y TDD, las

transmisiones en el enlace de bajada son divididas en unidades de supertramas, y cada una de ellas está formada por un preámbulo de supertrama seguido por una secuencia de Tramas PHY. El preámbulo de supertrama contiene 8 símbolos OFDM y tiene una estructura como la que se muestra en la Figura 2.62.

Los últimos tres símbolos OFDM en el preámbulo son pilotos TDM que se utilizan para la adquisición inicial. Los dos primeros pilotos forman el Canal de Adquisición (F-ACQCH), mientras que el último es reutilizado para transmitir el Canal de Interferencia de Otro Sector (F-OSICH). Los sistemas *Wideband* soportan un gran número de códigos PN únicos, un total de 4096, con el fin de simplificar los requerimientos de planificación PN. Cada código PN toma el nombre de Piloto PN y se utiliza como un identificador único de sector, siendo cada sector identificado por un número comprendido entre 0 y 4095; es lógico suponer que al ser un identificador único no pueden existir dos sectores con el mismo Piloto PN en la misma localización, y en este sentido el sistema realiza la planificación PN cuidando especialmente este detalle.

Para poder utilizar una gran cantidad de códigos PN sin aumentar la complejidad en la adquisición se hace uso de una estructura jerárquica de pilotos. Como parte de esta estructura jerárquica en el primer piloto TDM se utiliza un *scrambling* de solamente 2 bits de información, pudiendo tener cuatro posibles valores para los Pilotos PN; el segundo piloto TDM utiliza un *scrambling* con 8 bits de información, pudiendo tener 256 posibles valores de Pilotos PN; y finalmente el tercer piloto TDM utiliza un *scrambling* de 12 bits de información que pueden generar un total de 4096 valores diferentes de Pilotos PN.

Se mencionaba que el último símbolo OFDM es reutilizado para las transmisiones del canal F-OSICH. En cuanto a este canal se puede decir que es principalmente utilizado por el AT cuando se encuentra en sectores colindantes, y por consiguiente debe ser decodificable aún cuando se tengan relaciones señal a ruido extremadamente bajas. Este objetivo se logra proporcionándole al canal una ganancia extendida muy grande para lo cual se utilizan símbolos completos OFDM para la transmisión de dos o menos bits de información, es decir, que hace uso de un mecanismo de espectro ensanchado.

Los cinco primeros y restantes símbolos OFDM del preámbulo de supertrama son utilizados para transportar los dos Canales Primarios de Difusión, F-pBCH0 y F-pBCH1. Estos dos canales de difusión tienen una gran importancia en el funcionamiento del sistema, ya que transportan información de configuración que el AT necesita conocer antes de estar en capacidad de realizar la demodulación de Tramas PHY, y adicionalmente, llevan

también consigo información de paginación como se verá más adelante.

Un paquete del canal F-pBCH0 se codifica sobre 16 supertramas y ocupa solamente 1/4 de símbolo OFDM en cada preámbulo, de lo cual se puede deducir, que el *overhead* generado por este canal es extremadamente pequeño. Por el contrario, un paquete del canal F-pBCH1 se codifica sobre una sola supertrama y ocupa  $4\frac{3}{4}$  símbolos OFDM en cada preámbulo, siendo aproximadamente del 2% el ancho de banda que ocupa el *overhead* de este canal[8].

### 2.1.3.7. Saltos de Frecuencia

Los sistemas MBWA soportan dos modos diferentes de salto de frecuencia en el canal de datos del enlace de bajada, el modo de salto por tasa de símbolo o *symbol rate hopping*, y el modo de salto en bloques o *block hopping*; mientras que en el canal de datos del enlace de subida solamente se emplea el modo *block hopping*.

#### ***Symbol Rate Hopping* en el Enlace de Bajada**

En este modo de salto las subportadoras asignadas a un usuario son dispersadas a través de la banda de frecuencia, y la permutación de salto, que es la encargada de mapear los *hop-ports* asignados a una frecuencia, cambia cada dos símbolos OFDM; siendo el cambio de esta permutación independiente a través de los sectores.

En el modo *symbol rate hopping* se utiliza un canal piloto común de banda ancha para la estimación del canal, el mismo que es asignado con recursos de potencia y ancho de banda variables en cada símbolo OFDM. Los pilotos son equidistantes entre sí, es decir que entre todos los pilotos existe la misma separación en frecuencia, y adicionalmente son escalonados sobre símbolos OFDM consecutivos. La fase de escalonamiento en el canal piloto es randomizada sobre cada símbolo OFDM que tenga un índice impar, y la potencia con que se transmite ese canal piloto tiene que ser la necesaria para proporcionar recursos de estimación de canal suficientes incluso para los usuarios que se encuentren al borde o al límite de una celda.

La Figura 2.63 muestra un escenario que ejemplifica este modo de salto cuando se utiliza un canal piloto común asignado con un ancho de banda equivalente al 6% para una portadora con 512 subportadoras.

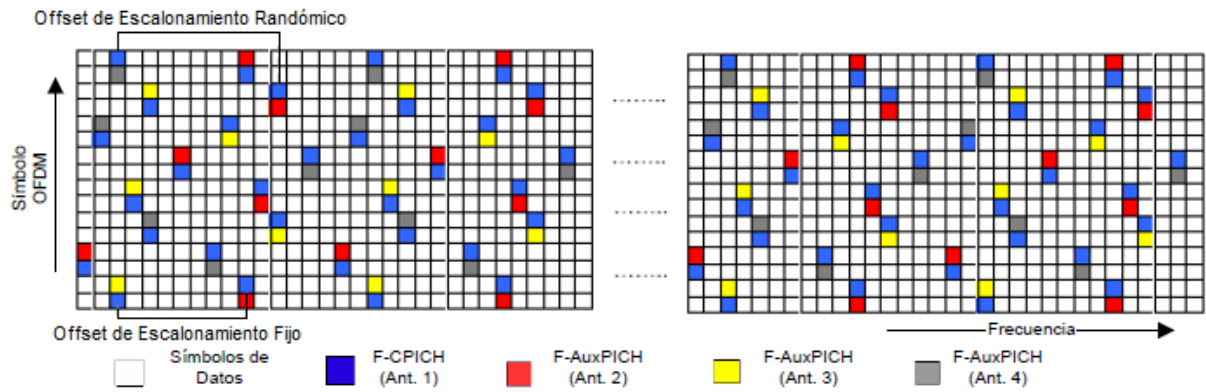


Figura 2.63: *Symbol Rate Hopping* en el Enlace de Bajada

La estimación del canal para la transmisión con múltiples antenas está soportada por medio de la definición de canales piloto auxiliares de banda ancha, en este caso el canal F-AuxPICH. Este canal piloto auxiliar es multiplexado en tiempo en tantas partes como número de antenas de transmisión se estén utilizando en el sistema. En el escenario de la Figura 2.63 se puede observar también como tres antenas de transmisión son multiplexadas sobre el canal F-AuxPICH[8].

### ***Block Hopping*** en el Enlace de Bajada

En el modo *block hopping* los usuarios son asignados con un conjunto de 16 subportadoras contiguas que son distribuidas aleatoriamente a lo largo de la frecuencia. El mapeo que se realiza entre los *hop-ports* y la frecuencia se mantiene constante a través de toda la Trama de Capa Física, es decir a lo largo de 8 símbolos OFDM, por lo que la permutación de salto cambia en cada Trama PHY y es independiente entre cada sector.

De acuerdo a este esquema, se especifica el salto en bloques o en conjuntos, cada uno de los cuales define una región de salto que se encuentra formada por 16 subportadoras y por 8 símbolos OFDM, todos contiguos.

Los símbolos piloto ocupan un patrón predefinido dentro de estos arreglos bidimensionales que se forman, a diferencia de los símbolos piloto en el modo *symbol rate*, en el cual eran distribuidos y escalonados de manera aleatoria sobre los símbolos OFDM. Existen tres patrones definidos de pilotos, tal como se muestra en la Figura 2.64.

El Formato 0 es el patrón por defecto y es utilizado para realizar transmisiones a usuarios capaces de soportar solamente una multiplexación espacial de una capa, el

Formato 1 es utilizado para soportar a usuarios que presenten canales con un alto retardo de propagación, y el Formato 2 se utiliza para usuarios MIMO con cuatro capas. Los símbolos piloto esquematizados en estos tres patrones son utilizados para realizar una estimación de la interferencia.

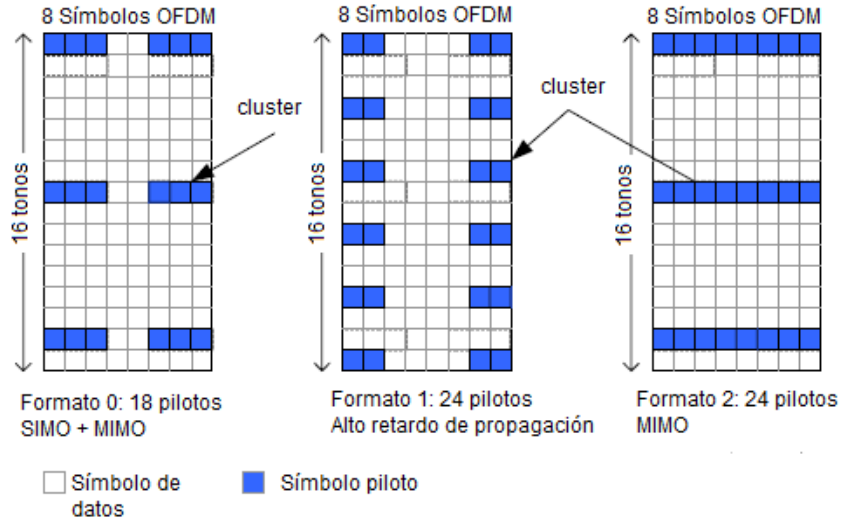


Figura 2.64: Patrones de Pilotos

Como puede observarse en la Figura 2.64, el canal piloto dedicado, está formado por seis franjas o grupos de pilotos, cada uno conformado por tres o cuatro pilotos. El primer patrón mostrado puede soportar hasta tres antenas efectivas, mientras que el último está en la capacidad de soportar hasta cuatro antenas.

A continuación en la Figura 2.65 se muestra un esquema que hace uso del modo *block hopping* para transmitir a tres usuarios distintos utilizando múltiples antenas para la transmisión[8].

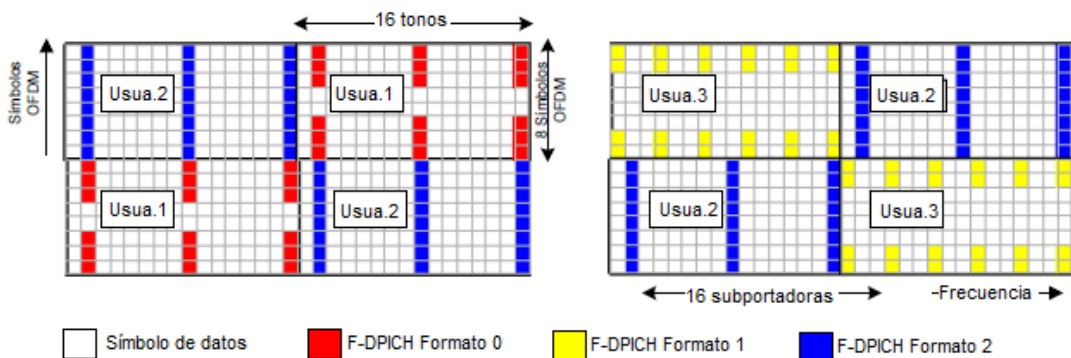


Figura 2.65: *Block Hopping* en el Enlace de Bajada

### ***Block Hopping* en el Enlace de Subida**

El modo *block hopping* en el enlace de subida tiene exactamente la misma estructura y funcionamiento que en el enlace de bajada. La única diferencia es que en lugar de soportar tres patrones de pilotos como en el enlace de bajada solamente soporta dos patrones, que son el Formato 0 y el Formato 1, siendo el Formato 0 el patrón por defecto y el Formato 1 el que se utiliza para terminales de acceso con canales que presenten altos niveles de retardo.

Los dos formatos tienen exactamente la misma estructura que fue mostrada en la Figura 2.64 para el enlace de bajada, con la diferencia de que sobre el enlace de subida pueden soportar transmisiones cuasi-ortogonales con el solapamiento o superposición de hasta tres usuarios en el Formato 0 y hasta dos en el Formato 1.

De manera general se puede decir que el modo *symbol rate hopping* maximiza la diversidad de canal e interferencia y por consiguiente proporciona algunas ventajas en el desempeño de la estimación del canal, mientras que el modo *block hopping* proporciona un soporte eficiente para la estimación de interferencias y para los procedimientos asociados a la transmisión con múltiples antenas, tales como *beamforming*, *precoding* y SDMA[8].

#### **2.1.3.8. Enlace Inverso Cuasi-Ortogonal**

Si bien es cierto que los esquemas de múltiple acceso ortogonales, tales como OFDMA, proporcionan amplios beneficios en lo que se refiere a la eliminación de interferencias intra-sector, también presentan ciertas desventajas como la limitación en dimensión que se produce a medida que el número de antenas receptoras en el punto de acceso aumenta.

Lo contrario ocurre con sistemas de acceso no ortogonales en los cuales mientras se limita la interferencia entre células, también se beneficia al sistema con un incremento lineal en su capacidad con respecto al número de antenas receptoras; es decir que mientras el número de antenas en recepción aumenta, en un esquema no ortogonal como CDMA, se puede proporcionar una mayor capacidad en comparación con un esquema de múltiple acceso ortogonal.

Un esquema de múltiple acceso no ortogonal puede operar en el régimen limitado de interferencia en el cual la relación señal a ruido ( $E_s/N_o$ ) por símbolo de modulación es bajo. En este régimen la capacidad del sistema se escala linealmente con respecto a la

relación señal a ruido, por consiguiente la capacidad se incrementa linealmente con el número de antenas receptoras.

Por otro lado, en un enlace de subida ortogonal la carga total está limitada por el número de dimensiones ortogonales (ancho de banda del sistema) y la eficiencia espectral por dimensión se escala logarítmicamente con respecto a la relación señal a ruido; consecuentemente, la capacidad de un esquema ortogonal de enlace de subida se escala logarítmicamente con el número de antenas.

En los sistemas MBWA, la limitación fundamental que se presenta por la utilización de un acceso múltiple ortogonal es compensada por medio de la utilización de un esquema de multiplexación cuasi-ortogonal, en el cual múltiples terminales de acceso en un mismo sector son asignados con los mismos recursos de ancho de banda. Hay que tomar en cuenta que el procesamiento espacial con múltiples antenas es utilizado para recuperar señales desde diferentes ATs, en consecuencia, con estas características se puede obtener un sistema que mantenga los beneficios de un diseño ortogonal cuando el número de antenas receptoras es pequeño, y que adicionalmente, proporcione una capacidad mejorada que se escale con respecto al número de antenas.

Este esquema de acceso cuasi-ortogonal permite alcanzar una diversidad de interferencia intra-sector por medio de un salto randómico. Específicamente, la asignación que hace el punto de acceso a cada AT consiste en un conjunto de bloques tiempo-frecuencia, lo que significa que saltan en frecuencia a través del tiempo. Cuando estas secuencias de salto son asignadas a múltiples solapamientos entre terminales de acceso, cada AT deberá solaparse o superponerse con un conjunto de ATs en cada bloque de tiempo-frecuencia.

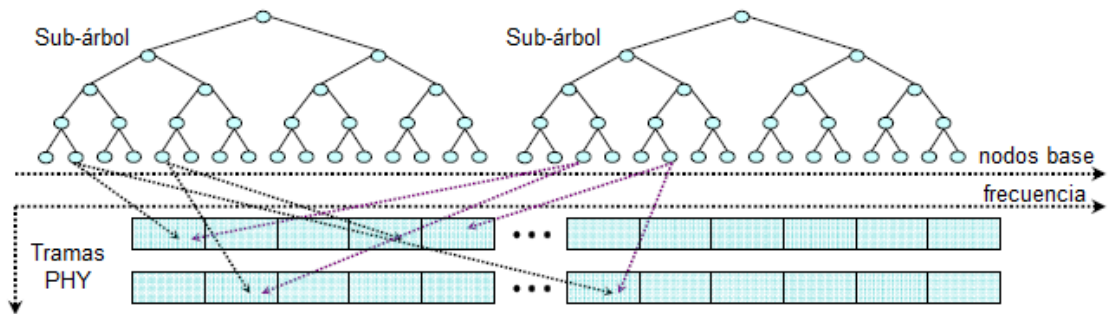
Los conjuntos de ATs deben ser diferentes para diferentes bloques, con lo que se consigue proporcionar una diversidad de interferencia co-canal que es ventajosamente utilizada por H-ARQ para terminar la transmisión de paquetes en una tasa apropiada. El concepto de saltos randómicos debe ser implementado para soportar diferentes valores para el factor de multiplexación, factor que hace referencia al número de ATs asignados a un mismo bloque tiempo-frecuencia.

Todo el procedimiento descrito anteriormente es importante también para asegurar la coexistencia de asignaciones cuasi-ortogonales con asignaciones ortogonales, las cuales pueden ser necesarias para soportar altos requerimientos de QoS.



Tal como se describía en la sección de Gestión y Asignación de Recursos, la estructura de asignación de canales está definida por medio de un árbol de canal, cuyos nodos base en este caso realizan un direccionamiento hacia un bloque tiempo-frecuencia. El mapeo desde los nodos base a los bloques tiempo-frecuencia es randómico en el tiempo, resultando en un procedimiento de salto de frecuencia para cada asignación.

Cuando se utilizan multiplexaciones cuasi-ortogonales una posibilidad es utilizar un canal de árbol que contenga un número  $Q$  de sub-árboles idénticos, cuyos nodos base sean randómicamente mapeados a un mismo conjunto de bloques tiempo-frecuencia, siendo la única condición, que los nodos base de un mismo sub-árbol sean dirigidos a recursos diferentes. La Figura 2.66 muestra el esquema de sub-árboles utilizado para la implementación de enlaces cuasi-ortogonales.



**Figura 2.66: Múltiples Árboles de Canal para el soporte de Enlaces cuasi-ortogonales**

En el modo ortogonal los ATs son asignados a un solo sub-árbol, mientras que en el modo cuasi-ortogonal un factor entero de multiplexación  $Q$  puede ser alcanzado por medio de la repartición de la carga en exactamente  $N$  sub-árboles.

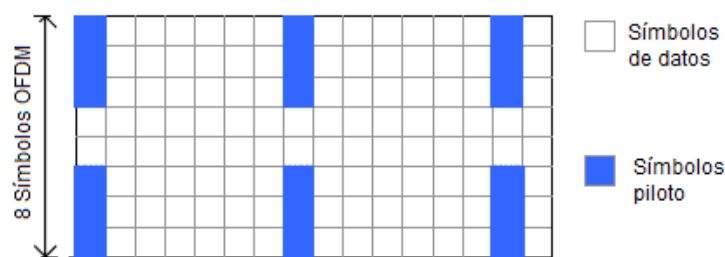
El factor de multiplexación puede ser también fraccionario, obteniéndose un factor de estas características, por medio de una carga parcial simétrica de  $Q$  sub-árboles. Alternativamente la parte fraccionaria puede alcanzarse por medio de la carga parcial asimétrica en la cual el enlace de subida empieza a asignar recursos a un AT en un nuevo sub-árbol que se agrega a los sub-árboles existentes que ya tienen sus asignaciones completas[8].

### Multiplexación de Pilotos Ortogonales

Con el objetivo de optimizar el desempeño de la demodulación en el esquema cuasi-ortogonal, los pilotos deben ser diseñados para permitir una estimación acertada de los canales  $Q$  correspondientes a los ATs multiplexados sobre un bloque.

En OFDMA, los recursos de tráfico del enlace de subida puede ser asignados en unidades de bloques de tiempo-frecuencia, cada uno de los cuales cuenta con un piloto local dedicado utilizado para la estimación de canal e interferencia. La propuesta para la utilización de enlaces cuasi-ortogonales consiste en definir unos cuantos *clusters* contiguos de pilotos que cuentan con una ubicación optimizada para minimizar el error de estimación de canal que se puede producir en el modo ortogonal y para multiplexar dimensiones de pilotos de diferentes ATs sobre esos *clusters*.

Un ejemplo de bloque tiempo-frecuencia y el diseño de un piloto que soporta una operación cuasi-ortogonal con un valor de  $Q$  igual a 3 se muestra en la Figura 2.67.



**Figura 2.67: Bloque de Tráfico Tiempo - Frecuencia**

En el ejemplo de la Figura 2.67 los símbolos piloto se encuentran en arreglos de seis *clusters* formados por tres franjas en frecuencia y dos en tiempo. En el modo de enlace cuasi-ortogonal, estos *clusters* pueden ser utilizados para la multiplexación ortogonal de pilotos de diferentes ATs.

Esta estructura de piloto puede ser utilizada también para facilitar la decodificación de las transmisiones sobre el enlace de subida realizadas por diferentes sectores de la celda de servicio. Este procedimiento conocido como *softer handoff* o *handoff* suave ayuda a mejorar la cobertura del sistema y el presupuesto del enlace para ATs localizadas cerca de los límites del sector.

En el modo ortogonal, diferentes sectores de la misma celda utilizarán la misma multiplexación de símbolos con una multiplexación ortogonal de pilotos para diferentes sectores dentro de la misma celda, esto debido a que una multiplexación ortogonal le permitirá a cualquier sector hacer la extracción precisa del estado del canal correspondiente a la transmisión del enlace de subida dentro de este sector, al mismo tiempo que las transmisiones sobre el mismo enlace están teniendo lugar en los sectores adyacentes.

De esta forma, la demodulación dentro de un determinado sector puede ser asistida por un sector vecino que utilizará la arquitectura apropiada en el receptor con el objetivo de separar los símbolos de datos transmitidos dentro de los dos sectores. El desempeño del *softer handoff* puede ser mejorado significativamente cuando múltiples antenas receptoras son utilizadas en cada punto de acceso del sector para permitir la separación espacial de símbolos de datos transmitidos en diferentes sectores[8].

### 2.1.3.9. Reutilización Fraccional de Frecuencias

El sistema MBWA ha sido diseñado para presentar un comportamiento robusto frente a las interferencias por lo que puede ser desplegado con una reutilización de frecuencias universal a través de todos los sectores, con el objetivo de realizar una planificación de frecuencias que pueda ser utilizada para mejorar la cobertura y la QoS.

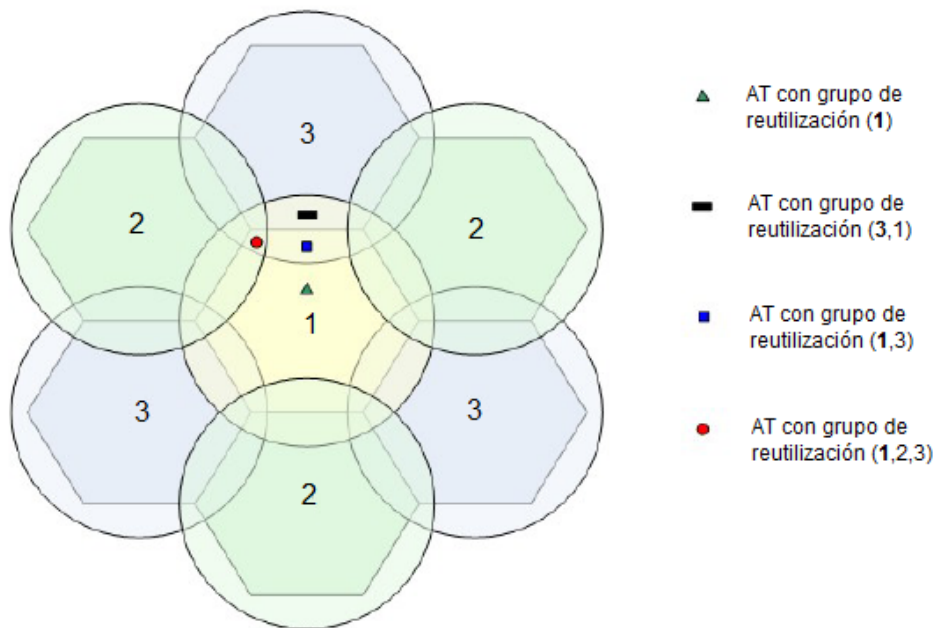
La reutilización de frecuencias es a menudo utilizada en sistemas limitados por la interferencia para mejorar el coeficiente Indicador de Calidad de Canal y la confiabilidad del enlace en el borde de los sectores; sin embargo, el mejoramiento que se obtiene en la calidad del canal viene acompañado con una reducción en el ancho de banda. Por ejemplo, un sistema con un factor de reutilización de frecuencia de  $1/3$  necesita mejorar la eficiencia espectral en el terminal de acceso en un 200 % para alcanzar el mismo *throughput* que se maneja en un sistema con una reutilización  $1/1$ .

La Reutilización Fraccional de Frecuencias (FFR) es un esquema de reutilización que utiliza un ancho de banda de *overhead* reducido en comparación con otros esquemas tradicionales de reutilización de frecuencias. A diferencia de los esquemas tradicionales en los cuales la misma frecuencia solamente se utiliza en 1 de 3, 7 o 12 sectores, la FFR permite a los terminales de acceso en condiciones de canal diferentes adoptar diferentes factores de reutilización de frecuencia.

La reutilización fraccional de frecuencias puede ser llevada a cabo por medio de dos procedimientos diferentes, uno de ellos consiste en denegar la transmisión en algunos conjuntos de subportadoras en cada sector; el otro procedimiento consiste en tener diferentes restricciones en la potencia de transmisión para diferentes conjuntos de subportadoras.

En un esquema FFR estático cada AT es asociado con un plan de reutilización de frecuencias particular que corresponde a un grupo o conjunto de frecuencias. Tal como puede observarse en la Figura 2.68, cada uno de los sectores se encuentra coloreado de tal

manera que ningún sector comparta el mismo color con los sectores vecinos, entendiendo obviamente que cada color representa una frecuencia distinta, y que el mismo conjunto de subportadoras es utilizado en los sectores que tienen el mismo color.



**Figura 2.68: Esquema de Reutilización Fraccional de Frecuencias**

Para ilustrar de mejor manera como se lleva a cabo el procedimiento para la formación de conjuntos de frecuencias en un esquema FFR, la Figura 2.68 muestra los conjuntos de reutilización de unos cuantos ATs que son formados en un sistema que despliega tres sectores por estación base. De este esquema se puede deducir que un conjunto de reutilización está definido por el color del sector en el cual se encuentra el AT asociado con los colores de los sectores vecinos que pueden ser detectados con una buena intensidad.

El AT denotado por la figura verde tiene un conjunto de reutilización (1) debido a que el sector de servicio de color 1 tiene mucha mayor intensidad que cualquiera de los otros sectores en este punto. El AT representado con la figura azul y el AT representado con la figura negra tienen conjuntos de reutilización (1,3) y (3,1) respectivamente, esto debido a que los sectores 1 y 3 son recibidos con una alta intensidad por estos dos ATs. El AT que se muestra con una figura roja posee un conjunto de reutilización (1,2,3), ya que en este punto los sectores representados con los tres colores diferentes son recibidos fuertemente y con la misma intensidad. Cabe mencionar que en la notación empleada el número marcado con negrilla identifica el color del sector de servicio, es decir del sector dentro del cual se encuentra ubicado el AT.

La meta de un diseño FFR es desplegar un patrón de frecuencias que haga posible que un AT esté en la capacidad de evitar interferir o ser interferido por los sectores no servidores en su conjunto de reutilización. Debido a que estos sectores son los que contribuyen mayoritariamente a la interferencia total en el enlace de bajada, suprimiendo la interferencia que se produce desde estos sectores, puede esperarse una reducción efectiva y significativa en la interferencia del sistema.

De manera general puede decirse que los terminales de acceso en los cuales las subportadoras de acuerdo al esquema FFR son inmunes a la interferencia inter-sector producida desde los sectores que pueden provocar un mayor nivel de interferencia en el enlace de bajada, tomando en cuenta que la interferencia experimentada por un AT en el enlace de bajada disminuye a medida que el tamaño del conjunto de reutilización aumenta.

El esquema estático FFR es definido de tal manera que cada AT es asociado con un conjunto de reutilización fijo con una duración que va más allá de la transmisión de un paquete de Capa Física. En los sistemas MBWA cada AT reporta mediciones piloto del enlace de bajada desde los sectores vecinos hacia el sector de servicio, siendo estas mediciones reportadas periódicamente o cuando la intensidad de algún piloto cambia significativamente. El planificador en el punto de acceso puede utilizar esas mediciones piloto para asignar los ATs a conjuntos de reutilización específicos dependiendo de los niveles de interferencia que son vistos desde los conjuntos vecinos.

Una limitación de la FFR estática es el limitado número de portadoras que pueden ubicarse en cada conjunto de reutilización de frecuencias, lo que limita la tasa pico en cada conjunto y reduce la eficiencia total del sistema. Una alternativa que permite sobrellevar estas limitaciones es la utilización de una planificación FFR dinámica.

La idea básica del esquema FFR dinámico es la de asignar a los terminales de acceso en diferentes conjuntos de reutilización con una base paquete por paquete, es decir que un AT es asignado a un conjunto solamente mientras dura la transmisión de un paquete. La aplicación de un FFR dinámico requiere el reporte rápido de la información de calidad de un canal específico del conjunto de reutilización de frecuencias, esto con el objetivo de aprovechar la ganancia por diversidad de usuario que se produce y simultáneamente eliminar la interferencia.

A continuación se citan algunos beneficios adicionales que pueden obtenerse por medio de la aplicación de una reutilización fraccional de frecuencias en el sistema.

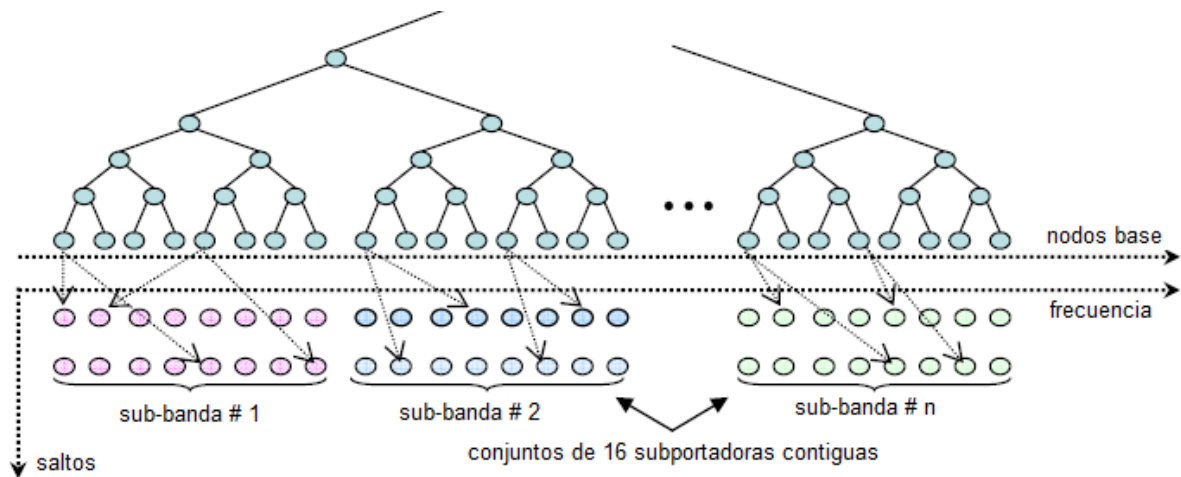
- FFR también puede aplicarse en el enlace de subida para reducir la interferencia desde los interferentes dominantes a un sector.
- Los usuarios que utilicen transmisiones MIMO pueden beneficiarse potencialmente a partir de las mejoras en la relación señal a ruido que son proporcionadas por FFR, ya que una relación señal a ruido mejorada se traduce en ganancias de mayor capacidad sobre canales de mayores dimensiones.
- FFR puede ser implementado como una técnica para la eliminación de la interferencia intra-estación base dentro de una planificación global de frecuencias. La forma en que FFR puede reducir significativamente las interferencias intra-estación base es por medio de la ortogonalización de las transmisiones de los AT que fueran servidos por sectores co-localizados[8].

#### 2.1.3.10. Planificación de Sub-banda

Cuando se realiza la planificación para ubicar a múltiples terminales en canales selectivos en frecuencia, la capacidad del sistema puede ser incrementada por medio de la asignación de la terminal en una sub-banda preferida cuya elección está basada en la respuesta en frecuencia de su canal actual. La planificación de sub-banda puede ser soportada tanto en el enlace de subida como en el enlace de bajada.

El tamaño de la sub-banda debe ser el necesario para proporcionar una suficiente diversidad de frecuencia que permita prevenir una degradación en el desempeño para terminales de acceso que presenten movimientos rápidos. Además de la falta de diversidad de frecuencia, otra implicación de tener sub-bandas demasiado estrechas, es la pérdida de eficiencia que puede producirse debida al hecho de que habría menos ATs candidatos para ser asignados por sub-banda. Tomando en cuenta estas consideraciones, el modelo del sistema MBWA *Wideband* propone que se utilice un tamaño de sub-banda de aproximadamente 1.25 MHz, de esta manera, cuando un AT es asignado dentro de una sub-banda con un ancho de banda de asignación de banda menor al de la sub-banda entera, entonces esta asignación saltará localmente a través de la sub-banda con el objetivo de maximizar la diversidad de canales y de interferencia.

Para realizar la planificación de sub-bandas se utilizan también árboles de canal, tal como el que se muestra en la Figura 2.69.



**Figura 2.69: Estructura de Árbol de Canal con Planificación de Sub-banda**

Como puede observarse en la Figura 2.69, todos los nodos primarios que alojan 8 nodos base mapearán a sub-bandas fijas de 128 subportadoras contiguas, agrupadas en conjuntos de 16 subportadoras. Tal como se mencionaba anteriormente, los canales correspondientes a los nodos base que se encuentran debajo de uno de los nodos primarios estarán saltando a través de la sub-banda de manera constante.

Adicionalmente al modo de planificación de sub-banda el sistema puede ser operado en un modo de diversidad en el cual los nodos base del árbol de canal saltan a través de la banda entera de frecuencias ya que no se realiza la división en sub-bandas. Este modo de diversidad puede ser preferido principalmente en sectores que sirven predominantemente a usuarios con movilidad a altas velocidades.

Con el objetivo de soportar la planificación de sub-banda el AT necesita proporcionar una retroalimentación de las propiedades del canal del enlace de bajada relacionado con las diferentes sub-bandas. La cantidad de información de retroalimentación debe balancear las ganancias del rendimiento del enlace de bajada debidas a la planificación de sub-banda con el *overhead* del enlace de subida causado por los canales de retroalimentación.

Para realizar la retroalimentación, el sistema incluye un canal de control denominado Canal de Retroalimentación de Sub-banda de Subida (R-SFCH). La mínima versión de este canal incluye un índice de sub-banda de 4 bits que es utilizado por el AT para indicar cual es la sub-banda preferida, la misma que debe ser elegida de entre un máximo de 16 sub-bandas cuando se utiliza un ancho de banda de 20 MHz.

También puede ser utilizada una versión extendida del canal R-SFCH, el mismo que

incluye un indicador de la calidad del canal de sub-banda además del índice de sub-banda que se incluye en el canal básico. Basado en la información que recibe, el punto de acceso puede asignar al AT sobre una sub-banda con una tasa determinada por el canal indicador de calidad (R-CQICH)[8].

### 2.1.3.11. Ancho de Banda Escalable

En el caso de realizar un despliegue del sistema con grandes anchos de banda, es deseable que el sistema soporte terminales de acceso que no tengan la capacidad de demodular el ancho de banda completo, pero que al mismo tiempo puedan mantener las ventajas de los ATs que sí pueden demodular todo el ancho de banda, ventajas tales como las altas tasas pico de transmisión. El sistema MBWA soporta estas características por medio de su modo multiportadora, en el cual todo el ancho de banda se encuentra dividido en múltiples portadoras, cada una conteniendo a su vez a 512 subportadoras. De esta manera, por ejemplo, en un despliegue de 20 MHz, se pueden contener 2048 subportadoras, contenidas a su vez en 4 portadoras que en su límite se encuentran separadas por subportadoras de guarda.

Cada una de las portadoras en este modo se comporta como un sistema independiente de 512 subportadoras, de modo que sobre cada portadora se transmiten canales independientes de *overhead* y cada portadora contiene también sus propios recursos de control para los enlaces de bajada y de subida, es decir que cada portadora en el sistema maneja su propio canal SSCH y su propio segmento de control CDMA.

Existen diferentes tipos de terminales de acceso dependiendo del número de portadoras que dicho terminal esté en capacidad de demodular y transmitir. Un AT que es capaz de demodular simultáneamente todas las portadoras puede ser dinámicamente asignado en una o más de las portadoras contenidas en una Trama PHY, y debido a que este AT puede ser asignado simultáneamente en todas las portadoras, las tasas pico que se pueden alcanzar en este sistema son similares a las que se obtienen en el modo en el que se utiliza una sola portadora.

Los ATs que son capaces de demodular un subconjunto de portadoras pueden conmutar entre un subconjunto y otro con una velocidad equivalente a la duración de una Trama PHY. Gracias al soporte de estas velocidades de conmutación tan elevadas el sistema puede realizar balances de carga muy efectivos con el objetivo de obtener ganancias de multiplexación estáticas.



Finalmente todos los símbolos de modulación que son recibidos desde todas las portadoras que se manejan son combinados en una sola trama de Capa MAC[8].

### Proceso de Adquisición

Cada portadora transporta su propio preámbulo de adquisición, y los canales de *overhead* F-pBCH0 y F-pBCH1 son también transportador independientemente sobre cada portadora. Sobre estos canales de control se transporta información muy importante como por ejemplo el número total de portadoras en un grupo multiportadora y el índice de una determinada portadora dentro de ese grupo[8].

### Acceso

Uno de los parámetros que es anunciado por medio de los canales de *overhead* es el que indica si un AT está permitido o no para acceder al sistema en una determinada portadora. El AT inicialmente lee la información contenida en los canales de *overhead*, y en base a esta información escoge una de las portadoras permitidas de manera autónoma y envía un *Access Probe* sobre esa portadora. Es importante destacar que aunque el AT sea capaz de demodular todas las portadoras, inicialmente solo accederá al sistema sobre una portadora.

Una vez que el *Access Probe* ha sido recibido, la red de acceso inicialmente asume que el AT es capaz de demodular solo una portadora ya que desconoce sus capacidades reales, y por esa razón envía su *Access Grant* sobre la misma portadora sobre la cual el AT envió el *Access Probe*. Posteriormente la AN localiza la sesión perteneciente a ese AT en particular, ya que esa sesión incluye información de cuantas portadoras es capaz de demodular el AT; y en caso de que la sesión no sea encontrada, se procede a iniciar una nueva negociación asumiendo que el AT tiene la restricción de demodular una sola portadora. Una vez establecida la sesión y cuando la AN conoce plenamente las capacidades del AT se encuentra en capacidad de iniciar la asignación del AT sobre múltiples portadoras[8].

### Señalización del Enlace de Bajada

Como se mencionaba anteriormente, cada portadora contiene un ancho de banda reservado para el canal SSCH, el cual es el encargado de transportar las asignaciones de los enlaces de bajada y de subida y los acuses de recibo del enlace de subida para todos los canales en la misma portadora. Es lógico suponer que si cada portadora maneja sus propios canales de señalización y control, de la misma manera la gestión de asignación trabaja

independiente en cada portadora; es por esta razón que si un AT recibe asignaciones en múltiples portadoras, su asignación será simplemente la unión de todas sus asignaciones en diferentes portadoras.

La AN puede preguntar a la AT si es necesario realizar el cambio del conjunto de portadoras que se encuentra demodulando por medio del Bloque de Cambio de Portadora, el cual es transportado como una parte del canal SSCH. Cuando se realiza el acceso inicial, el AT tiene que monitorizar solamente la portadora en la cual envió su *Access Probe*, pero posteriormente esta portadora puede ser modificada o expandida a un conjunto de portadoras por medio de la utilización del Bloque de Cambio de Portadora. Es muy importante notar que el conjunto de portadoras que escucha un AT es un parámetro global de la red y no un parámetro restringido a una sola AN, por lo que se asume que el conjunto de portadoras no cambiará aún cuando se produzca un proceso de *handoff*.

Después de enviar el Bloque de Cambio de Portadora, la AN tiene que asegurar que el AT tenga los parámetros de *overhead* de la portadora a la cual quiere conmutar por medio del envío de estos parámetros a través de un mensaje *unicast* dirigido al AT[8].

### Señalización del Enlace de Subida

Al igual que en el enlace de bajada, cada portadora tiene un ancho de banda reservado para los canales de control del enlace de subida, es decir para el canal R-ACKCH y para el segmento de control CDMA.

Mientras que el canal R-ACKCH es usado en cada subportadora para la entrega de los acuses de recibo de los canales en el enlace de bajada, el canal de control CDMA es asignado independientemente y el AT transmite el CQI del canal en todas las portadoras que se encuentra demodulando, siendo determinados de manera independiente en cada portadora los parámetros que controlan las transmisiones del CQI, como por ejemplo el intervalo de reportes CQI. A diferencia del resto de canales, el canal R-REQCH es transmitido solamente en una de las portadoras, la cual es determinada por el Bloque de Cambio de Portadora.

El control de potencia para la transmisión del CQI y la transmisión de datos, así como también las transmisiones del canal OSICH, son manejadas independientemente en cada portadora; y si un AT ha sido asignado a canales en múltiples portadoras, este debe utilizar la densidad espectral de potencia determinada por el procedimiento de control de potencia

en cada portadora con el objetivo de modular las subportadoras contenidas en la misma[8].

### 2.1.3.12. Control de Potencia

El control de potencia está relacionado directamente con los procedimientos que son utilizados en los sistemas MBWA para controlar la potencia de transmisión del terminal de acceso. Un control de potencia de lazo cerrado es utilizado para configurar los niveles de potencia transmitidos en los canales de control del enlace de subida que son transmitidos periódicamente. El nivel de potencia de los canales de tráfico está configurado en un *offset* cuyo ajuste está basado en las indicaciones de interferencia recibidas desde los sectores vecinos.

Una frecuencia de control de potencia mayor o igual a 150 Hz es suficiente para las condiciones de canal que se manejan en este tipo de sistemas. Una frecuencia de 150 Hz implica que el AT debe estar recibiendo un bit de control de potencia por cada seis Tramas PHY que recibe.

Normalmente en un sistema MBWA *Wideband* el canal R-CQICH es utilizado como una referencia del nivel de potencia, o de la densidad espectral de potencia, para las transmisiones de tráfico sobre el enlace de subida. La utilización de canales de control como referencia de los niveles de potencia es necesaria para el control de la interferencia inter-portadora y para asegurar un apropiado nivel de potencia para las transmisiones con una tasa mínima sobre el enlace de subida.

El algoritmo con el cual se maneja el control de potencia de lazo cerrado ha sido diseñado para el canal R-CQICH, el cual es periódicamente transmitido sobre el enlace de subida para transportar en cada palabra codificada un número limitado de bits de información que están relacionados con la calidad de canal del enlace de bajada. El modo de control de potencia que será utilizado es determinado por medio de un bit que es incluido en el protocolo de mensajes de *overhead*.

De manera general, el algoritmo está basado en indicaciones de control de 1 bit, las mismas que son enviadas desde el sector de servicio e interpretadas por el AT como comandos de control de potencia que permiten incrementar o disminuir el nivel de potencia en la transmisión. Cuando un AT recibe una indicación de control desde el sector de servicio, este incrementa o disminuye la densidad espectral de potencia del canal CQI dependiendo del tipo de indicación que reciba, y la medida en la que se incrementa o

disminuye la densidad espectral de potencia es comunicada al AT por medio de un mensaje de Actualización de *Active Set*.

Debido a que las transmisiones en los canales de tráfico desde diferentes ATs ocupan diferentes dimensiones tanto en tiempo como en frecuencia, no resulta óptimo tener una gran diferencia en la potencia de recepción a través de las subportadoras, ya que esto incrementaría los requerimientos de rango dinámico del receptor y adicionalmente podría causar la pérdida de ortogonalidad con los consecuentes errores en tiempo y frecuencia que pueden producirse. Adicionalmente, es importante tomar en cuenta que en una distribución multisector la alta interferencia inter-sector que se produce puede reducir drásticamente la capacidad de la red, y precisamente de aquí se deriva la necesidad de realizar un control exhaustivo de los niveles de potencia en la transmisión.

La utilización de un sistema de múltiple acceso ortogonal para los canales de tráfico hace que el sector de servicio carezca de información relacionada a la interferencia inter-sector causada por el enlace de tráfico de subida que es originado desde este sector. Esta limitación ocasiona que en cada AT sea implementado un algoritmo para el control de la interferencia, algoritmo en el cual la información de interferencia podría ponerse a disposición de otros sectores.

En los sistemas MBWA una indicación de carga es transmitida en *broadcast* en cada supertrama sobre el canal F-OSICH desde cada sector cuando la interferencia promedio sobre el nivel térmico excede un umbral máximo. Este indicador de carga puede tomar tres valores distintos (0,1,2) en su objetivo de controlar el nivel de potencia del AT que se encuentra causando algún tipo de interferencia.

El indicador de carga puede ser transmitido también sobre el denominado Segmento Rápido OSI (*Other Sector Interference*) que forma parte del canal F-SSCH. Tal como su nombre lo indica, este segmento es transmitido a una tasa mayor (se transmite en cada Trama PHY), y tiene como objetivo alcanzar ATs cercanos que potencialmente puedan causar altos niveles de interferencia. A pesar de que el alcance de este segmento es menor y no posee tanta cobertura como el canal F-OSICH, es de gran utilidad cuando se trata de evitar altos riesgos de interferencia que pueden poner en peligro el funcionamiento del sistema y que por consiguiente deben ser detenidos inmediatamente.

El nivel de la interferencia inter-sector por subportadora causada por un AT en particular es determinado por el nivel de potencia de transmisión utilizado por ese AT

y por la localización que tiene con respecto a los sectores vecinos. Para los canales de tráfico, el control de potencia puede llevarse a cabo de tal manera que a cada AT se le permita transmitir con un nivel de potencia que sea tan alto como sea posible, pero que al mismo tiempo permita mantener un valor de interferencia inter-sector dentro de niveles aceptables.

En este sentido es fácil suponer que a un AT localizado más cerca de su sector de servicio que de otros sectores se le permitirá transmitir con un mayor nivel de densidad espectral de potencia, debido a que este AT por su ubicación causará una interferencia muy baja a los sectores vecinos. Por el contrario, un AT que se encuentra ubicado lejos de su sector de servicio y que está orientado más bien hacia los límites del sector debe ser restringido a realizar transmisiones con un bajo nivel de potencia, ya que por su localización puede causar un nivel de interferencia considerable en sus sectores vecinos.

Mediante este control de potencia de transmisión se puede reducir significativamente la interferencia total observada por cada sector, al mismo tiempo que se les permite a los ATs alcanzar mayores niveles en la relación señal a ruido y en consecuencia mayores tasas de transmisión de datos.

La densidad espectral de potencia se define como la potencia de transmisión por subportadora asignada y para un canal de tráfico de un AT en particular puede expresarse de la siguiente manera:

$$P_{dch}(n) = P_{ref}(n) + \Delta P(n)$$

en donde,

$P_{dch}(n)$  es la densidad espectral de potencia de transmisión para el canal de tráfico en un intervalo de actualización  $n$ ;

$P_{ref}(n)$  es el nivel referencial de densidad espectral de potencia para el intervalo de actualización  $n$ ;

y  $\Delta P(n)$  es la variación de la densidad espectral de potencia de transmisión para el mismo intervalo de actualización  $n$ .

Los niveles de densidad espectral de potencia  $P_{dch}(n)$  y  $P_{ref}(n)$  y la variación de

potencia transmitida  $\Delta P(n)$  están expresados en unidades de decibeles.

El significado de la densidad espectral de potencia y de la variación de potencia quedan claros sin necesidad de mayores explicaciones, sin embargo, es necesario especificar que el nivel de referencia es la cantidad de densidad espectral de potencia transmitida necesaria para alcanzar un valor objetivo en la relación señal a ruido para una transmisión designada; dicho valor objetivo para la relación señal a ruido es proporcionado por el canal R-CQICH.

Para sintetizar todo lo que se ha descrito anteriormente, se puede decir que el valor de la densidad espectral de potencia de transmisión para los canales de tráfico se configura en base a los siguientes parámetros:

- Cantidad de interferencia inter-sector que un AT puede causar a otros ATs en sectores vecinos
- Cantidad de interferencia intra-sector que un AT puede causar a otros ATs en el mismo sector
- Nivel de potencia máximo permitido para un AT[8].

#### 2.1.4. Eficiencia Espectral

Con el objetivo de proporcionar una alta eficiencia espectral en el sistema se incorporan una serie de mecanismos y procedimientos que permiten optimizar los recursos y hacer una mejor utilización del espectro radioeléctrico, que es un recurso fundamental pero limitado en las telecomunicaciones, por medio de técnicas de multiplexación espacial. Entre estos mecanismos de optimización de recursos que adicionalmente permiten mejorar las tasas de transmisión y por consiguiente su eficiencia, se encuentran, la utilización de múltiples antenas (MIMO), la pre-codificación, el *beamforming*, y el acceso múltiple por división de espacio (SDMA). En las secciones siguientes se describirá cada uno de los procesos mencionados.

##### 2.1.4.1. MIMO

Los sistemas MBWA soportan técnicas de múltiples entradas y múltiples salidas (MIMO) con el objetivo de incrementar la eficiencia espectral por medio de una multiplexación espacial.

## Estructura de los Canales de Datos

El sistema utiliza una señalización de antena efectiva en la estación base, es decir que el punto de acceso crea múltiples rayos utilizando el conjunto de antenas físicas que se encuentran disponibles, de tal manera que cada uno de los rayos se conoce como una antena efectiva. Los diferentes rayos son generados con dos objetivos fundamentales que son el de preservar las estadísticas del canal y el de transmitir la misma potencia desde todas las antenas físicas del sistema.

Cada uno de estos rayos generados utiliza las diferentes antenas de transmisión física de manera equitativa, de tal manera que se asegura que todos los amplificadores de poder en la estación base son utilizados también equitativamente. Las transmisiones con una sola entrada y múltiples salidas (SIMO) utilizan solamente la primera antena efectiva, mientras que las transmisiones MIMO pueden utilizar un subconjunto o todas las antenas efectivas disponibles.

Debido a que el número de antenas efectivas puede ser menor que el número total de antenas físicas, el AP puede escoger cualquier compensación entre el *overhead* de estimación de canal y la diversidad de transmisión disponible. Básicamente, el número total de antenas efectivas creado dictamina el máximo orden de diversidad en la transmisión que puede ser explotado en un sistema en particular; adicionalmente este número indica la cantidad de *overhead* necesario para estimar los canales espaciales.

En el modo de salto *symbol rate* el número de antenas efectivas es un parámetro global de todo un sector que puede ser adaptado, a largo plazo, de acuerdo a las condiciones del canal y de la relación señal a ruido. Por el contrario, en el modo de salto *block hopping*, generalmente un subconjunto del número total de antenas efectivas es utilizado en un bloque en particular y no en todo el sector; el conjunto de antenas efectivas en un determinado bloque puede ser adaptado, a corto plazo, a las condiciones de canal debido a la utilización de pilotos dedicados.

Tanto en el modo de salto *symbol rate* como en el *block hopping* el número de símbolos de modulación transmitidos simultáneamente para un paquete en particular es adaptado, en un corto plazo, a las condiciones del canal[6].

## Estructura de los Pilotos

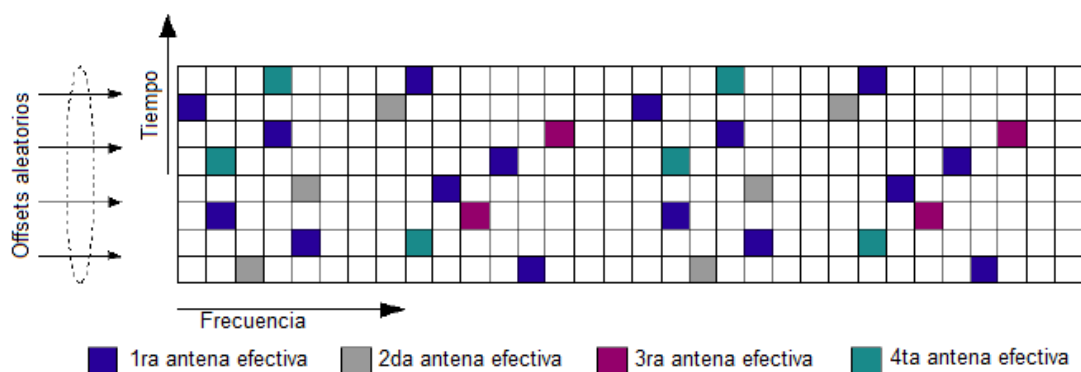
En el modo *symbol rate* un piloto común de banda ancha es transmitido desde cada

antena efectiva, las subportadoras piloto se encuentran presentes en cada símbolo OFDM, y el conjunto de subportadoras piloto en cada símbolo OFDM se encuentran igualmente espaciadas sobre todo el ancho de banda con el objetivo de posibilitar una estimación eficiente del canal.

El canal piloto común (F-CPICH) es transmitido desde la primera antenna efectiva y es utilizado para la demodulación SIMO, y las subportadoras de este mismo canal son escalonadas sobre grupos de dos símbolos OFDM, ocupando este canal las subportadoras en las posiciones  $0, 16, 32, 48, 64, \dots$  en el primer símbolo OFDM y las subportadoras en las posiciones  $8, 24, 40, 56, 72, \dots$  en el segundo símbolo OFDM. La localización del canal F-CPICH cambia de acuerdo a un patrón pseudo randómico cada dos símbolos OFDM, todo con el objetivo de asegurar que las subportadoras piloto pertenecientes a un sector no colisionen siempre con las subportadoras piloto utilizadas por otro sector.

El canal piloto auxiliar (F-AuxPICH) es transmitido desde las antenas efectivas restantes y utiliza las subportadoras que no han sido ocupadas por el canal F-CPICH y de la misma manera estas subportadoras se encuentran equidistantes a través de toda la banda de frecuencias.

Las subportadoras del canal F-AuxPICH provenientes de diferentes antenas efectivas son multiplexadas en tiempo con respecto a las otras, por ejemplo, si las subportadoras F-AuxPICH desde la antenna efectiva 2 ocupa el símbolo OFDM 1, las subportadoras desde la antenna efectiva 3 ocuparán el símbolo OFDM 2, las subportadoras desde la antenna 4 ocuparán el símbolo 3, y las subportadoras desde la antenna 2 ocuparán el símbolo 4; esto asumiendo que se utiliza un esquema con cuatro antenas efectivas.



**Figura 2.70: Estructura de Pilotos para el caso de cuatro antenas efectivas**

La Figura 2.70 muestra la estructura de los pilotos para el ejemplo con cuatro antenas



efectivas.

En el modo de salto *block hopping*, las asignaciones para una transmisión MIMO se llevan a cabo en uno o más bloques, cada uno de los cuales está formado por 16 subportadoras contiguas en 8 símbolos OFDM. Estos patrones de pilotos utilizados para estimar el canal MIMO fueron descritos anteriormente en la sección Saltos de Frecuencia, y permiten la multiplexación de pilotos correspondientes a diferentes antenas efectivas[8].

## Diseño MIMO

Los sistemas MBWA soportan principalmente dos modos de funcionamiento MIMO, el modo de una sola palabra codificada (SCW) y el modo de múltiples palabras codificadas (MCW), diseñados para el soporte de FDD y TDD respectivamente. En TDD opcionalmente se puede implementar un tercer modo conocido como *beamforming Pseudo-Eigen* que puede ser soportado tanto con el modo SCW como con el modo MCW y que sirve para explotar la reciprocidad de los canales del enlace de bajada y de subida.

En el modo SCW, una sola palabra codificada es transmitida a la vez en el dominio frecuencia-espacio, y un receptor lineal simple es utilizado para desacoplar los múltiples símbolos de modulación que son transmitidos, sin embargo, ya que un receptor tan simple no permite alcanzar las máximas capacidades del sistema, la utilización de un receptor más sofisticado para SCW puede mejorar significativamente el desempeño especialmente en escenarios con una alta relación señal a ruido, aunque esto implica un incremento también en la complejidad del terminal de acceso.

En el modo MCW, múltiples flujos de datos codificados son simultáneamente transmitidos, y en este modo se adopta un receptor de cancelación sucesiva de interferencia, el mismo que permite alcanzar un desempeño óptimo en el sistema, a pesar de que incrementa la complejidad en el AT debido a la mayores requerimientos de memoria que demanda. Adicionalmente, este modo utiliza un *overhead* extra en comparación con el modo SCW.

Con fines explicativos se define el número de antenas transmisoras como  $M_t$ , el número de antenas receptoras como  $M_r$ , el número de antenas efectivas como  $M_e$ , y el número de símbolos de modulación transmitidos simultáneamente en una subportadora y símbolo OFDM definido como  $M$ .

En general, cuando se transmiten  $M$  símbolos de modulación sobre  $M_e$  antenas efectivas, los  $M$  símbolos de modulación son cíclicamente desplazados en cada subportadora tal

como se muestra en la Figura 2.71.

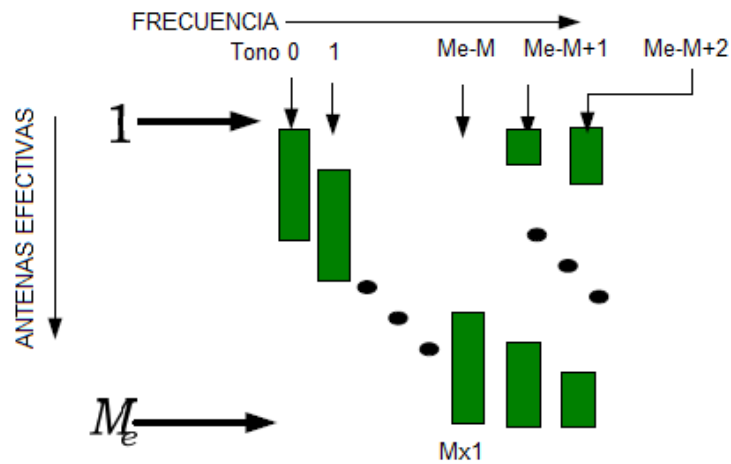


Figura 2.71: Ciclo de Desplazamientos MIMO

Como puede observarse en la Figura 2.71 los primeros  $M$  símbolos de modulación son transmitidos en las primeras  $M$  antenas efectivas y en la primera subportadora en la asignación. Los segundos  $M$  símbolos de modulación son transmitidos en las antenas efectivas 2 hasta  $M+1$  y en la segunda subportadora en la asignación, y así sucesivamente[8].

### Predicción de Tasa y Rango

En el caso del modo SCW, la tasa del código, el tamaño de la constelación para la modulación y el orden de la multiplexación espacial, también conocido como rango, son adaptados al canal para una transmisión específica. El AT ejecuta un mecanismo de predicción de rango y retroalimenta este valor del rango junto con el correspondiente valor CQI del canal hacia el AP. En base a esta información el AP ajusta el nivel de potencia transmitida y ejecuta al mismo tiempo un algoritmo de predicción de tasa por medio del cual se escoge el formato de paquete.

Para el modo MCW, el procedimiento de predicción de tasa y rango se ejecuta de la misma manera, con la única diferencia que las predicciones y las acciones llevadas a cabo se aplican sobre sub-flujos de datos pertenecientes a los flujos múltiples de transmisión de MCW[8].

#### 2.1.4.2. Pre-codificación

En un sistema MBWA TDD las transmisiones tanto del enlace de bajada como de subida se localizan en la misma región de frecuencia, de manera que el principio de reciprocidad hace posible la estimación del canal del enlace de bajada a partir del canal del enlace de subida, y es este hecho precisamente el que posibilita al punto de acceso extraer la ganancia de *beamforming* de transmisión sobre el enlace de bajada cuando múltiples antenas se encuentran disponibles en el AP.

Sin embargo, en un sistema MBWA FDD las transmisiones del enlace de bajada y de subida se realizan en frecuencias completamente separadas, razón por la cual los canales de cada uno de estos enlaces pueden atenuarse independientemente. Debido a este hecho, las estimaciones del canal del enlace de subida no proporcionan un conocimiento instantáneo del canal en el enlace de bajada.

Las ganancias del *beamforming* de transmisión en un sistema FDD son posibles por medio de una retroalimentación explícita sobre el enlace de subida de la información de canal del enlace de bajada, información que posteriormente será utilizada para transmitir los datos en la dirección preferida por cada uno de los usuarios. Esta técnica que permite la formación del haz con múltiples antenas para concentrar un haz espacial en una determinada dirección es conocida como pre-codificación.

Al igual que en los sistemas FDD, la pre-codificación es muy valiosa en los sistemas TDD en los cuales la retroalimentación del enlace de subida puede ser utilizada para mejorar la información disponible de canal del enlace de bajada a través de los pilotos del enlace de subida. El proceso de pre-codificación es utilizado en el modo de salto *block hopping* para el canal de datos del enlace de bajada.

En sistemas con múltiples antenas transmisoras y una sola antena receptora, es decir en sistemas SIMO, la pre-codificación proporciona ganancias de *beamforming* que se traducen en cobertura y capacidad mejoradas en el sistema. Por otro lado, en sistemas que presentan múltiples antenas transmisoras y receptoras, es decir en sistemas MIMO, la pre-codificación habilita un *eigen-beamforming* en el cual múltiples capas que están siendo transmitidas a un usuario pueden ser señalizadas en los rayos *eigen* del propio canal.

Las ganancias resultantes son especialmente notorias cuando el número de capas transmitidas es menor que el número de antenas transmisoras en el AP. Este hecho se constata siempre en escenarios asimétricos, en los cuales el número de antenas de transmisión en el AP es mayor que el número de antenas de recepción en el AT.

Las ganancias de pre-codificación dependen de la oportuna exactitud que tenga la información de canal del enlace de bajada que está siendo retroalimentada sobre el enlace de subida, y debido a que el canal es selectivo en frecuencia y espacio, la información retroalimentada debe ser también selectiva en frecuencia y espacio. Además, es necesario que exista un medio para la estimación del canal del enlace de bajada para todos los usuarios y sobre todas las antenas transmisoras, incluso cuando algún usuario no se encuentre asignado para la transmisión.

Debido a que el mecanismo debe cumplir con todas estas exigencias, el *overhead* resultante que permita el soporte adecuado de la pre-codificación puede ser excesivo, y el hecho de reducir el *overhead* se convierte en uno de los principales desafíos en la implementación de este procedimiento. Por esta razón, se plantean dos soluciones que permiten manejar adecuadamente esta situación. Por un lado, se plantea la utilización en el enlace de bajada de un canal piloto de banda ancha que produzca un *overhead* reducido y que al mismo tiempo proporcione una estimación exacta de la información del canal requerida para la pre-codificación; y por otro lado, los requerimientos de *overhead* del enlace de subida son mitigados por medio del intercambio de la ganancia de pre-codificación con la reducción de *overhead*[8].

### Arquitectura de Pre-codificación

Los pilotos de indicación de calidad del canal son transmitidos sobre el enlace de bajada aproximadamente cada 5.5 milisegundos y se envían a través de todas las antenas físicas existentes, y al mismo tiempo el canal piloto permite la estimación de los canales selectivos en frecuencia y espacio en el terminal de acceso, estimación que proporciona los datos necesarios para que el AT pueda computar la información de canal del enlace de bajada que será retroalimentada hacia el punto de acceso. El AT transmite esta información por medio del canal R-CQICH presente en el segmento de control del enlace de subida.

Tal como se mencionó anteriormente, un requerimiento clave es la apropiada negociación entre las ganancias de pre-codificación y el *overhead* de retroalimentación que se produce en el segmento de control del enlace de subida, *overhead* que es principalmente producido por la necesidad de generar una selectividad en frecuencia y en espacio. Realizar una retroalimentación exacta en cada antena transmisora puede tener un alto costo en el rendimiento del sistema, y es por esta razón que algún tipo de cuantización es por consiguiente necesaria y es llevada a cabo utilizando un libro de códigos o *codebook* pre-definido que contiene las entradas que definen el procesamiento espacial que se aplicará en

el transmisor.

Comúnmente hasta 16 *codebooks* pueden ser definidos y la elección de los mismos se basa en ciertos parámetros como la configuración de la antena y el perfil del terreno, entre otros. Cada *codebook* contiene hasta 64 entradas que proporcionan soporte para la diversidad de transmisión, para el *beamforming* de usuarios con línea de vista, para la pre-codificación MIMO, y para SDMA.

El AT procesa el modo de transmisión preferido de entre el conjunto predefinido de entradas sobre cada sub-banda, y el índice tanto de sub-banda como de pre-codificación son indicados al AP por medio de los canales R-SFCH y R-BFCH presentes en el canal de control del enlace de subida.

Algunas de las entradas en los *codebooks* pueden ser matrices que están definidas para el soporte de la pre-codificación MIMO, y en el modo MIMO, el AT lleva a cabo las predicciones de tasa y rango utilizando este conjunto de matrices predefinidas. El índice de la matriz deseada, cuantificado en 6 bits, y el rango, cuantificado con un valor entre 2 y 4 bits, son retroalimentados sobre el segmento de control del enlace de subida. Estos dos parámetros cuantificados en conjunto proporcionan la información requerida por el AP para la pre-codificación.

Por ejemplo, para ilustrar los conceptos expuestos anteriormente se puede considerar un escenario en el cual exista un sector con cuatro antenas transmisoras y un usuario con cuatro antenas receptoras que se encuentra en capacidad de soportar tanto pre-codificación como MIMO. En este caso el usuario indica la matriz de pre-codificación preferida, el rango ( $r$ ), y el CQI del canal, todo a través del canal de control del enlace de subida; y una vez transmitida esta información, el AP la recibe y adapta la transmisión hacia el AT por medio de la matriz de pre-codificación señalada por él mismo. Las  $r$  capas transmitidas al usuario son moduladas en las primeras  $r$  columnas de la matriz de pre-codificación preferida, con la consideración de que en este caso cada columna de la matriz representa un rayo en la transmisión.

Las instrucciones de pre-codificación empleadas por el AP no tienen que ser señalizadas hacia el AT, esto se debe a que la pre-codificación es permitida solamente dentro del modo *block hopping*, en el cual se utilizan pilotos dedicados para la estimación del canal. Debido a que los pilotos y los datos son modulados con las mismas instrucciones de pre-codificación, la elección de estas instrucciones o directrices son transparentes para el AT[8].

### 2.1.4.3. *Beamforming* para Sistemas MBWA TDD

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

En los sistemas TDD las transmisiones de los enlaces de bajada y de subida se realizan sobre el mismo espectro, y debido a este hecho, el principio de reciprocidad hace posible la estimación del canal del enlace de bajada a través de las transmisiones piloto del enlace de subida. Estas transmisiones pueden estar formadas por secuencias piloto conocidas o por canales de control del enlace de subida, los mismos que pueden ser utilizados como símbolos pilotos y permitir por consiguiente la estimación de los canales selectivos en espacio en el caso de la utilización de múltiples antenas.

De manera general, en sistemas SIMO el *beamforming* proporciona un incremento en la relación señal-interferencia, y en sistemas MIMO un *eigen-beamforming* puede ser utilizado en donde múltiples capas que están siendo transmitidas a un usuario pueden ser señalizadas en los rayos *eigen* del propio canal.

Las ganancias resultantes son especialmente notorias cuando el número de capas transmitidas es menor que el número de antenas transmisoras en el AP. Este hecho se constata siempre en escenarios asimétricos, en los cuales el número de antenas de transmisión en el AP es mayor que el número de antenas de recepción en el AT.

La disponibilidad de la información del canal para el enlace de bajada puede ser un limitante en la obtención de ganancias aceptables de *beamforming*, ya que el punto de acceso obtiene información del canal de bajada por medio de la estimación obtenida a partir de las transmisiones piloto del enlace de subida, y por consiguiente esa información puede encontrarse incompleta. Esto se debe a que los pilotos del enlace de subida pueden ser transmitidos a través de una sola antena, y en el caso de poseer múltiples antenas en el terminal de acceso, evidentemente la estimación para todas las antenas no es completa.

En el caso de que múltiples capas sean transmitidas hacia el AT, la primera capa es

señalizada por medio de la estimación recíproca del canal, mientras que las otras capas son señalizadas en un subespacio ortogonal al haz o rayo utilizado en la primera capa. Esta utilización de *beamforming* en transmisiones MIMO de múltiples capas es lo que se conoce como *eigen-beamforming*.

El modo de salto *block hopping*, debido a su utilización de patrones de pilotos dedicados, es especialmente adecuado para soportar transmisiones que utilicen *beamforming*, y es precisamente con este modo de salto con el cual se implementa el *beamforming* TDD. Un sistema que incorpore estas características de funcionamiento combinadas tiene las ventajas de proporcionar flexibilidad, robustez, y transparencia en la operación entre el AP y el AT.

Varias veces se ha mencionado que las transmisiones de pilotos del enlace de subida no proporcionan una información completa del enlace de bajada cuando se dispone de múltiples antenas de recepción en el AT, y para mejorar el desempeño del sistema ante esta dificultad resulta muy beneficiosa la utilización combinada de *beamforming* con un mecanismo de pre-codificación.

Esta utilización conjunta de ambos procedimientos también beneficia en gran medida a la pre-codificación, esto se debe a que el AT dispone de una estimación completa del canal para el enlace de bajada y de la formación de los rayos *eigen*, información puede ser utilizada para retroalimentar algunas especificaciones en el procedimiento de pre-codificación. De esta manera la información conjunta obtenida a partir de los dos procedimientos permite adaptar adecuadamente el *beamforming* para el enlace de bajada[8].

#### 2.1.4.4. SDMA

El Acceso Múltiple por División de Espacio, conocido como SDMA por sus siglas en inglés, es una técnica avanzada de transmisión aplicada sobre el enlace de bajada y en la cual múltiples usuarios son señalizados o asignados en los mismos recursos tiempo-frecuencia. Una de las características principales de SDMA es la de permitir la apertura de nuevas dimensiones, pero a expensas de una reducción en la relación señal a ruido e interferencia.

Cuando se encuentran disponibles múltiples antenas de transmisión en el punto de acceso, cada una de estas antenas puede ser utilizada con el objetivo de disminuir la interferencia intra-sector que puede producirse al implementar SDMA. Esta reducción en

la interferencia es llevada a cabo por medio de la transmisión simultánea hacia los usuarios que se están superponiendo o interfiriendo, transmisión que debe utilizar apropiadamente rayos o haces definidos para cada usuario. La formación y elección adecuada de estos haces depende del grupo de usuarios que se estén superponiendo y principalmente de los canales espaciales utilizados por los usuarios superpuestos, canales definidos a través de las múltiples antenas de transmisión; y recíprocamente, la interferencia intra-sector, a su vez, depende del haz o haces pertenecientes a los usuarios involucrados en dicha interferencia.

Por ejemplo, se puede considerar a dos usuarios superpuestos, cada uno de ellos con una antena receptora y con vectores ortogonales de canal espacial. En este caso, una transmisión con un filtro casado simple en el punto de acceso permite suprimir la interferencia intra-sector completamente ya que el haz de cada usuario es simplemente el conjugado complejo de su respectivo vector de canal. Por supuesto que este es un escenario ideal puesto que no existe una interferencia intra-sector claramente definida, y por consiguiente, se puede alcanzar una ganancia SDMA total. En el caso contrario si los canales de usuario, conocidos como firmas espaciales, son similares, entonces los haces utilizados para transmitir a los usuarios probablemente serán también similares y por consiguiente producirán una alta interferencia intra-celda.

De acuerdo a lo descrito anteriormente se puede asumir que realizar una agrupación de usuarios puede jugar un papel importante en la implementación exitosa de un sistema SDMA, ya que es fácil concluir que es preferible superponer usuarios con firmas espaciales que sean lo suficientemente diferentes como para disminuir o eliminar la presencia de interferencias intra-sector. Este hecho a su vez sugiere la necesidad de disponer constantemente de la información de canal en el enlace de bajada. En sistemas FDD esta información es proporcionada a través de los canales de retroalimentación del enlace de subida, tal como sucedía en el procedimiento de pre-codificación, mientras que en sistemas TDD la información del canal se encuentra disponible por medio de los pilotos del enlace de subida[8].

### **Arquitectura Propuesta para SDMA**

En escenarios de red de área extensa (WAN), es posible obtener ganancias SDMA aceptables por medio de la aplicación de técnicas de gestión de celda apropiadas, específicamente técnicas de gestión intra-celda. Tal como se mencionó anteriormente es fundamental que en el sistema se disponga de la información referente al canal del enlace de bajada, esto con el objetivo de proporcionarle al punto de acceso las herramientas necesarias para



que pueda agrupar a los usuarios en múltiples conjuntos, de acuerdo al criterio mencionado anteriormente. Adicionalmente cabe destacar que el AP también necesita procesar y asignar a los diferentes usuarios en conjuntos apropiados de haces.

Todas estas situaciones plantean de alguna manera un desafío en la implementación de un modo SDMA dentro de los sistemas MBWA, desafío que debe ser sobrellevado por medio de las especificaciones del diseño; pero adicionalmente se presenta también otro problema que puede dificultar el funcionamiento de esta tecnología, y es el hecho de que los sistemas MBWA *Wideband* deben necesariamente presentar un soporte adecuado para un modo de operación híbrido.

En cualquier tipo de escenario o ambiente WAN es necesario disponer de un soporte para posibilitar la coexistencia de todos los usuarios que se encuentren funcionando en diferentes modos de operación, por ejemplo, en el caso de MBWA es indispensable que se pueda dar soporte simultáneamente a todos los usuarios en modo SDMA, en modo de pre-codificación, o en modo MIMO, al mismo tiempo que se proporcione también soporte para varios canales de control en *broadcast*. Debido a esta diversidad de modos de funcionamiento los requerimientos de utilización de ancho de banda pueden cambiar también frecuentemente, por lo que se hace necesario habilitar un diseño escalable que proporcione flexibilidad para soportar los requerimientos de ancho de banda de los diversos modos.

De esta manera, queda claro que los desafíos que se deben superar para hacer posible una implementación del sistema consisten en realizar una eficiente agrupación de usuarios y un eficiente procesamiento de haz y retroalimentación, y en posibilitar el soporte de modos de funcionamiento híbridos que permitan la coexistencia de todos los procedimientos de optimización del espectro analizados anteriormente.

El mismo mecanismo de retroalimentación definido para el soporte de pre-codificación puede ser reutilizado para el soporte de SDMA, y tal como se describió en la sección de Pre-codificación, es un *codebook* de 64 entradas que son indexadas utilizando un vector de 6 bits; estas entradas del *codebook* pueden ser segmentadas en múltiples grupos o conjuntos, de los cuales uno se utiliza para la transmisión de pre-codificación, otra para la transmisión SDMA, y los restantes, para las transmisiones por defecto. El conjunto de entradas correspondiente a las transmisiones SDMA es segmentado a su vez en distintos clústers, de tal manera que cada clúster SDMA corresponde a un conjunto de matrices que pueden ser utilizadas por los usuarios para la transmisión. De esta manera se asegura

que solamente usuarios pertenecientes a diferentes clústers SDMA puedan superponerse.

En el modo SDMA, el AT está obligado a indicar el haz que prefiere para la transmisión, el mismo que debe ser escogido de un clúster SDMA, y también a retroalimentar el CQI asociado con ese haz escogido. Este reporte es enviado a través del canal R-BFCH, y de manera similar a lo que ocurre en el modo de pre-codificación, está basado en una sub-banda en particular.

El canal F-CPICH que es transmitido cada 5.5 milisegundos en el modo *block hopping* es utilizado para estimar la respuesta en frecuencia del canal en todas las antenas físicas de transmisión, de tal manera que la calidad de la señal a partir de las entradas del *codebook* pueda ser procesada en un procedimiento que es bastante similar al procesamiento de calidad de la señal que se realiza en el modo de pre-codificación. En realidad la única diferencia entre el procesamiento CQI de la pre-codificación y el procesamiento CQI del modo SDMA es en la manera en que se realiza el cálculo del nivel de interferencia.

En el caso de SDMA la interferencia considerada proviene tanto de la interferencia inter-sector como de la interferencia intra-sector que se producen simultáneamente para un usuario en particular. La interferencia intra-sector exacta depende de los haces y de la potencia utilizada en los usuarios que se encuentran dentro de los clústers SDMA que se están superponiendo. El AT no tiene conocimiento de los usuarios que pueden estar causando interferencia, ya que la planificación y asignación de usuarios son llevadas a cabo en el AP, y por esta razón tiene que realizar una suposición basada en un procedimiento de mejor esfuerzo para estimar la potencial interferencia que pudiera existir con otros usuarios.

Como se mencionó anteriormente, cada usuario dentro del modo SDMA reporta un índice de haz preferido que se encuentra contenido en un clúster SDMA específico dentro del *codebook*, y todos los usuarios pertenecientes al mismo clúster SDMA son ubicados dentro del mismo grupo en el proceso de agrupación. Es así como la agrupación se realiza de forma que los usuarios que se encuentran dentro de un mismo grupo sean asignados de tal manera que sus asignaciones sean siempre ortogonales con respecto a las demás, asegurando así que no se permitan solapamientos. Este objetivo puede lograrse asignando a todos los usuarios dentro de un grupo en el mismo árbol de canales.

La asignación SDMA está basada en un árbol de canales que contiene sub-árboles idénticos que mapean a un mismo conjunto de recursos, de tal manera que los usuarios

dentro del mismo clúster SDMA sean agrupados juntos y cada uno de esos grupos es asignado a un sub-árbol. Con este esquema se asegura que los *hop-ports* dentro de cada sub-árbol corresponden a subportadoras separadas, pero debido a que todos los sub-árboles realizan asignaciones en la misma región de frecuencia, puede ocurrir que existe alguna interferencia entre usuarios asignados a través de los diferentes sub-árboles.

El mapeo de los *hop-ports* a una frecuencia es exactamente el mismo en todos los sub-árboles y es por esa razón que si los *hop-ports* asignados a un usuario en un sub-árbol corresponden a los mismos *hop-ports* asignados a un usuario diferente en otro sub-árbol, entonces los dos usuarios serán asignados en los mismos recursos de frecuencia. Uno de todos estos sub-árboles se denomina primario y es utilizado para asignar usuarios que no se encuentran dentro del modo SDMA, y los *hop-ports* correspondientes a aquellos usuarios fuera del modo SDMA en el sub-árbol primario no pueden ser utilizados en ningún otro sub-árbol.

El hecho de limitar el mapeo de los *hop-ports* para que se realice de la misma manera en todos los sub-árboles permite sin embargo que se obtenga una mayor flexibilidad en la asignación y posibilita el soporte del escenario híbrido que se mencionaba anteriormente.

La diversidad de la que se habla hace referencia al soporte del modo SDMA en el cual los usuarios pueden solaparse, y los modos no SDMA tales como pre-codificación y MIMO, en los cuales los usuarios no se encuentran solapados. Debido a que los requerimientos de ancho de banda de estos modos pueden cambiar rápidamente es necesario disponer de un alto grado de escalabilidad, el mismo que se logra mediante el uso de las estructuras de árbol y saltos descritas anteriormente.

Los canales que prefieren un modo no SDMA deben ser asignados a *hop-ports* en el sub-árbol primario, y consecuentemente, los *hop-ports* en todo el resto de sub-árboles que corresponden a ese rango de frecuencias son removidos de los recursos que se encuentran disponibles para las asignaciones. De esta manera el ancho de banda requerido para cada modo se incrementa o disminuye según sea necesario[8].

### 2.1.5. Características Adicionales de MBWA *Wideband*

La Capa de Control de Acceso al Medio incorpora algunas características que son fundamentales para el funcionamiento de los sistemas MBWA. Estas características están relacionadas básicamente con el tratamiento que se le da a la calidad de servicio con el

objetivo de proporcionar diferentes niveles de QoS para los usuarios, con los procedimientos de paginación, con los mecanismos de seguridad que son implementados tanto en el establecimiento de las sesiones como en el mantenimiento de las mismas, y con las técnicas de *handoff* que se utilizan en la búsqueda de garantizar conectividad en ambientes de alta movilidad y coexistencia con otras tecnologías de acceso inalámbricas.

### 2.1.5.1. Calidad de Servicio

La interfaz de aire propuesta por el estándar IEEE 802.20 para los sistemas MBWA *Wideband* permite tener un soporte de QoS a nivel de la capa de enlace entre la red de acceso y el terminal de acceso para los paquetes de datos. Esta interfaz de aire da soporte para servicios de QoS basados en saltos de capa IP y extremo a extremo, tales como *Diffserv* y RSVP. Las descripciones detalladas de la arquitectura de servicios diferenciados *Diffserv* y del protocolo RSVP se encuentran especificadas en las Normas RFC 2475 y RFC 2205 respectivamente, y se encuentran fuera del alcance del presente proyecto.

Para el soporte de los mecanismos de QoS se hace uso de los recursos que se listan a continuación:

- **Protocolo de Enlace de Radio (RLP):** Proporciona la configuración, negociación y ejecución de las políticas de calidad de servicio.
- **Canal de Petición de Subida (R-REQCH):** Proporciona una diferenciación de las peticiones de prioridad que realizan los usuarios para la asignación de los canales de datos de subida.
- **Canal de Acceso (R-ACH):** Divide a los usuarios en diferentes clases de accesos y permite diferentes prioridades de acceso dependiendo de los requerimientos de QoS de cada usuario.

El protocolo RLP es un protocolo de transmisión de datos que basa sus transmisiones en un mecanismo de mejor esfuerzo y que proporciona retransmisiones opcionales con el objetivo de disminuir la tasa de error en los paquetes. Este protocolo puede transportar uno o más flujos de paquetes y soporta las siguientes funcionalidades:

- Negociación de la calidad de servicio en cada flujo

- Detección duplicada
- Entrega opcional en orden de los paquetes a las capas superiores
- Fragmentación y Re-ensamblaje
- Adicionamiento de bits de relleno
- Eliminación de paquetes ocasionada por la latencia, pérdida parcial de los mismos y *handoff*

Cada instancia del protocolo RLP define 15 flujos y un conjunto de atributos para el soporte de un mecanismo de QoS basado en el flujo de paquetes en el cual los flujos son considerados individualmente para diferentes tipos de QoS. Es así como los atributos de cada flujo pueden ser configurados para soportar diferentes tasas de error de bit o diferentes latencias en los paquetes, con la consideración de utilizar múltiples transportes de datos en caso de que 15 tipos diferentes de servicios de QoS se necesitan simultáneamente en un solo AT.

Un paquete que requiere QoS es asociado con una reservación que incluye un atributo definiendo los requerimientos de servicio para el flujo y un atributo de filtro que se utiliza para la clasificación de dicho paquete, adicionalmente otro atributo define el mapeo que se debe realizar entre las reservaciones o los flujos RLP, mapeo que permite que múltiples reservaciones puedan ser asignadas a un solo flujo. Todas las reservaciones de QoS son iniciadas por el AT, pero la AN puede sugerirle un conjunto de requerimientos de servicio o de atributos de filtro que son definidos independientemente para los enlaces de bajada y de subida.

Las operaciones principales de QoS definidas en la interfaz de aire de los sistemas MBWA son la configuración y eliminación de los parámetros de QoS por flujo y reservación basándose en requerimientos de QoS autorizados; y la activación y desactivación de QoS bajo solicitud, incluyendo el control de admisión y la asignación de recursos en la interfaz de aire.

La configuración de un flujo o una reservación puede hacerse independientemente de su activación, y de hecho la configuración se realiza antes de la activación, pero algunos atributos pueden ser modificados en un flujo de datos que se encuentra ya activo. Por ejemplo el flujo o las plantillas de filtro de una reservación, o la tasa de error de paquete de ese mismo flujo pueden ser modificadas mientras una reservación se encuentra abierta.

La configuración puede hacerse por adelantado cuando una sesión es establecida o cuando una aplicación se inicia, para lo cual debe utilizarse una configuración avanzada que permita una rápida activación en el momento en el que se inicia una comunicación de datos. Por su parte, las reservaciones pueden ser eliminadas o reutilizadas para soportar diferentes tipos de servicio de QoS.

De manera general, un flujo debe ser activado y una reservación debe ser abierta para que puedan ser utilizados. La interfaz de aire proporciona atributos que permiten la activación y desactivación de un flujo, por ejemplo, un flujo puede ser desactivado para configurar sus atributos o para limitar el número de flujos que se encuentran activos simultáneamente.

De la misma forma una reservación puede cambiar de estado mediante un mensaje de indicación a través del cual un AT puede solicitar que una reservación sea abierta, petición que es atendida por la AN que es la única entidad capaz de abrir dicha reservación. La AN puede utilizar control de admisión y políticas de QoS para determinar si una reservación puede abrirse y para determinar la manera en que se asignan los recursos de la interfaz de aire para dicha reservación. Basándose en el tipo de servicio y en las políticas de QoS, una reservación puede ser abierta o cerrada por defecto cuando se abre una conexión[8].

#### 2.1.5.2. Paginación

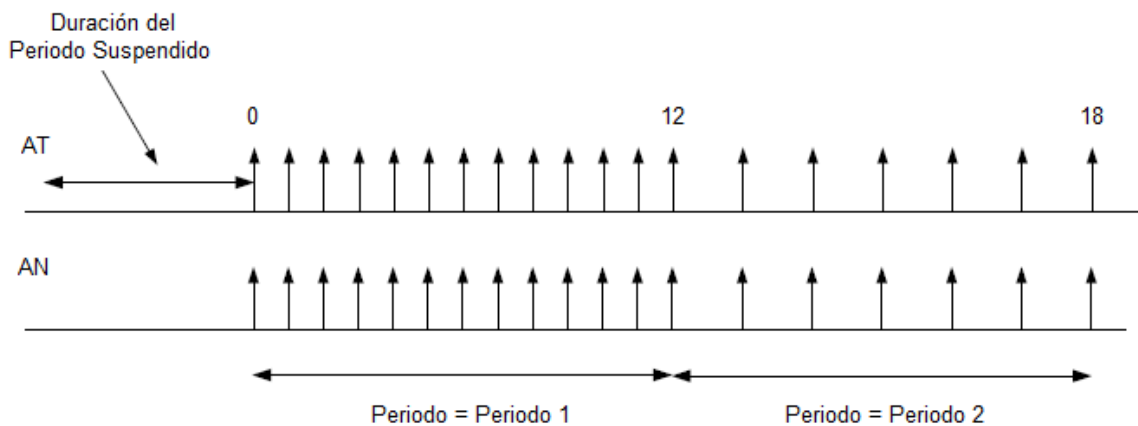
La paginación es el proceso por medio del cual la red de acceso inicia una conexión con un terminal de acceso que se encuentra en estado suspendido, de tal manera que el AT se despierte para escuchar el tráfico del enlace de bajada solamente en ciertos intervalos de tiempo previamente negociados. Los sistemas MBWA manejan una arquitectura flexible y eficiente de paginación que cuenta con las siguientes funciones principales:

- Maneja una línea de tiempo para sus *pages*
- Realiza la entrega de *pages* utilizando el canal de control y el canal de tráfico de bajada
- Recupera rápidamente los *pages* perdidos utilizando una re-paginación rápida
- Garantiza una entrega confiable de *pages* aún cuando el AT se despierte en un nuevo sector

Todas las características citadas anteriormente permiten que la entrega de mensajes de paginación sea confiable y utilice una baja carga de *overhead* para el efecto.

Cuando un AT se encuentra en estado suspendido puede levantarse periódicamente para verificar si existe algún *page* o mensaje de paginación para él. El periodo o intervalo de tiempo que transcurre entre una verificación y la siguiente se denomina periodo de paginación, y es determinado por un proceso de negociación que se lleva a cabo entre el AT y la AN; usualmente los periodos de paginación pueden tener duraciones que van desde 50 milisegundos hasta varios minutos, con la consideración de que largos periodos de paginación incrementan el retardo al iniciar una conexión pero reducen el consumo de energía, mientras que periodos cortos reducen el retardo pero incrementan el consumo de energía.

En los sistemas MBWA se implementa una línea de tiempo de paginación incremental, en la cual los periodos de paginación son pequeños para los primeros ciclos que tienen lugar inmediatamente después de que el AT ha entrado al estado inactivo, y posteriormente van incrementándose y son mayores para la gran mayoría de ciclos de paginación que se llevan a cabo. Este concepto se ilustra más claramente por medio de la Figura 2.72 en la cual el periodo de paginación es pequeño durante el ciclo identificado como Periodo 1, y posteriormente crece para los subsiguientes ciclos.



**Figura 2.72: Línea de Tiempo de los Periodos de Paginación**

De este esquema es fácil deducir que el terminal tiene una mayor rapidez de respuesta en los momentos iniciales después de haber entrado al estado suspendido aunque con el costo de un ligero incremento en el consumo de energía, mientras que, a medida que se encuentra más tiempo en estado suspendido se vuelve menos responsivo y tarda más tiempo en reaccionar pero consume menos energía. Este comportamiento que presenta el terminal

es importante para sistemas de datos en donde la red probablemente realizará envíos al AT inmediatamente después de que este ha ingresado al estado suspendido[8].

### Entrega de Mensajes de Paginación

Tal como se mencionó anteriormente, el consumo de potencia en un terminal que se encuentra en estado suspendido depende en gran medida del periodo de paginación y de la energía consumida durante cada uno de estos periodos.

De acuerdo a las especificaciones del estándar IEEE 802.20, un sistema *Wideband* realiza la entrega de los *pages* en un proceso de dos pasos utilizando bloques denominados *QuickPage* seguidos por el mensaje de paginación propiamente dicho enviados sobre un canal de tráfico.

Un bloque *QuickPage* es transmitido cada dos supertramas, es decir aproximadamente cada 50 milisegundos, lo que significa que para poder demodularlo el terminal solamente necesita demodular 5 Símbolos OFDM correspondientes al canal pBCH1 en el preámbulo de una supertrama. Es decir que si se considera una duración de 110 microsegundos para cada símbolo OFDM, se requerirán aproximadamente 550 microsegundos para monitorizar un *page* transmitido a un AT; lo que significa que para un periodo de paginación de 1 segundo esto se traduce en un ciclo de trabajo en el receptor equivalente al 0.05 %.

Una vez que un usuario ha recibido correctamente el bloque inicia nuevamente un proceso de monitorización en espera de un subsecuente paquete de paginación que es enviado por medio de un canal de tráfico de bajada, y que en el momento de ser recibido produce el acceso del usuario a la red.

Con el objetivo de reducir la probabilidad de colisión de los bloques *QuickPage* a cada usuario se le asigna un número randómico de 128 bits que se denomina *UserHash* que es utilizado como identificador. Por ejemplo, si se asume que dos usuarios necesitan ser paginados, la AN incluirá los 16 bits menos significativos de ambos usuarios en el bloque *QuickPage*, de tal manera que los usuarios en los cuales los 16 bits menos significativos del *UserHash* coincidan con los bits menos significativos del *QuickPage* continuarán monitorizando en espera del siguiente paquete de paginación, mientras que todo el resto de usuarios deberán desactivar sus receptores. De manera similar cuando solamente un usuario necesita ser paginado, el bloque *QuickPage* contendrá los 32 bits menos significativos de su *UserHash*, y de esa forma la cantidad de bits que se incluyen varía adaptativamente



dependiendo del número de usuarios que necesitan ingresar en el proceso de paginación.

Con la utilización de un esquema como el descrito anteriormente la probabilidad de colisión disminuye, ya que al utilizar los 16 ó 32 bits menos significativos del *UserHash*, en una supertrama típica deben incluirse solamente uno o dos *pages*.

El proceso de re-paginación rápida está diseñado principalmente con el objetivo de reducir el retardo de paginación en el caso de que el terminal pierda un *page* en particular. Si el terminal pierde un *page* debido a un error de demodulación, el terminal estará consciente de esa pérdida debido al seguimiento que hace del CRC del bloque *QuickPage* y del paquete de paginación, y en ese caso el mecanismo de re-paginación rápida creará una oportunidad adicional de paginación que será llevada a cabo en un intervalo de tiempo fijo que transcurre después de la paginación perdida. Este intervalo de re-paginación rápida debe ser menor que el periodo de paginación original, esto con el objetivo de reducir el tiempo que se necesita para que el *page* perdido pueda ser entregado correctamente[8].

### Gestión del Área de Paginación

La carga de paginación existente en una red depende del tamaño del área de paginación que se maneje, entendiendo como área de paginación al área en la cual la paginación de un terminal de acceso tiene validez. Si un terminal tiene un área de paginación extensa, el *overhead* de paginación para ese terminal es alto, pero a su vez puede tener gran movilidad sin pérdida de *page*; por el contrario, si un AT tiene una área de paginación reducida, el *overhead* que soporta es bajo pero dicho terminal pierde su capacidad de movilidad a altas velocidades, ya que puede perder un *page* si se mueve demasiado rápido. Por consiguiente el precio de manejar pequeñas áreas de paginación con *overheads* reducidos es el de tener que soportar terminales móviles que tengan que registrarse frecuentemente en la red.

En este sentido es importante que el sistema pueda mantener un equilibrio entre el área de paginación que maneja y el *overhead* que produce, equilibrio que puede ser logrado por medio de una optimización de la interfaz de aire que permita reducir la carga de paginación pero sin disminuir la confiabilidad del proceso. Con el objetivo de alcanzar esa optimización el sistema opera tal como se describe a continuación.

Después del cierre de una conexión, la AN realiza una paginación del AT en un área pequeña que se encuentra formada por el sector en el cual el AT cerró la conexión y por los sectores vecinos más cercanos, y al mismo tiempo el AT registra si se mueve a un nuevo

sector luego de ese cierre. Por medio de este mecanismo los terminales que se encuentran estáticos luego del cierre de la conexión deben ser paginados en un área pequeña.

Después del primer registro la AN hace una paginación del terminal en un área mayor y el AT se registra solamente después de haber cruzado por un gran número de sectores, esto con el objetivo de permitir que el AT y la AN detecten movilidad y puedan respectivamente registrarse y paginar en un área mayor.

Para poder recibir adecuadamente un paquete de paginación, un AT, debe conocer parámetros específicos del sector en el que se encuentra, tales como el patrón de salto que se está utilizando en dicho sector. Si se asume que estos parámetros son publicados por medio de los mensajes de *overhead*, entonces el AT deberá obligatoriamente leer estos mensajes antes de poder demodular un *page* que recibe. Sin embargo puede producirse el caso en que un AT cruce el límite de un sector durante un periodo de paginación y se despierte en un determinado punto bajo la cobertura de otro sector diferente; en este caso, el AT será incapaz de demodular el *page* que reciba puesto que no conoce los parámetros específicos del nuevo sector en el que se encuentra.

Para solventar este problema el sistema sigue el siguiente procedimiento alternativo. En primer lugar, el Canal de Paginación Rápida se encuentra siempre contenido en el preámbulo de supertrama, y por consiguiente el preámbulo contiene siempre información suficiente para demodular el bloque *QuickPage*. En segundo lugar, la estructura del canal de tráfico de bajada, el cual es utilizado para transportar los mensajes de paginación o *pages*, es descrita por medio de los mensajes *QuickChannelInfo* contenidos también en el preámbulo de supertrama; por consiguiente, un usuario que despierte en un nuevo sector debe ser capaz de leer la estructura de canal en el preámbulo de supertrama y utilizar esta información para demodular un *page* aún cuando no tenga acceso a los mensajes de *overhead*[8].

### 2.1.5.3. Seguridad

Con el objetivo de garantizar la seguridad se implementan procedimientos de encriptación y autenticación como la utilización de *Cryptosync* y de un intercambio de claves. En el afán de minimizar el *overhead* en los paquetes transmitidos, el *cryptosync* es procesado utilizando parámetros implícitos asociados con la transmisión de paquetes.

El *cryptosync* es una cadena compartida de bits que es conocida tanto por el transmisor

como por el receptor y que se utiliza para la encriptación y desencriptación de datos. Al ser un conjunto de bits encriptadores, el *cryptosync* debe cambiar obligatoriamente entre un paquete y otro, y generalmente los algoritmos de encriptación prohíben la repetición de un *cryptosync* en diferentes paquetes.

### *Cryptosync*

Para que un proceso de encriptación sea exitoso el *cryptosync* nunca debe ser reutilizado con la misma clave, y para cumplir con este objetivo los sistemas MBWA derivan el *cryptosync* utilizando los siguientes parámetros:

- Tiempo del Sistema
- Contador de Conexión
- Identificador de Canal
- Piloto PN

El sistema MBWA proporciona un parámetro denominado tiempo del sistema que se encuentra disponible tanto en el receptor como en el transmisor. Cada trama tiene un identificador único de 40 bits denominado Número de Trama PHY, y el número de trama en el cual se inicia la transmisión de un paquete es utilizado para generar el *cryptosync*. Al ser único este identificador, indudablemente que el *cryptosync* que se derive de él también lo será.

El contador de conexión es utilizado para garantizar que un *cryptosync* no sea reutilizado a medida que el terminal de acceso transite entre diferentes sectores. En cada nueva conexión que realiza el AT, el contador de conexión es incrementado, previniendo de esta manera una reutilización de *cryptosync* ya que para cada conexión que se establezca se generará uno diferente dependiendo del valor que tenga el contador al momento de iniciar la conexión.

El identificador de canal por su parte tiene la función de garantizar que el *cryptosync* es diferente para las transmisiones de los enlaces de bajada y de subida que se inician en la misma Trama PHY.

Los pilotos PN juegan un papel muy importante durante el procedimiento de *handoff* rápido entre sectores que pueden tener ligeros *offsets* de tiempo. Cuando se produce

un *handoff* rápido el contador de conexión no se incrementa, pero los sistemas MBWA solamente permiten *handoffs* rápidos entre sectores con diferentes valores de Piloto PN, lo cual garantiza que aunque el contador no se modifique el *cryptosync* no se repetirá debido a que se generará uno nuevo basado en el nuevo valor del Piloto PN[8].

### Intercambio de Claves

Un intercambio de claves de cuatro vías es utilizado para derivar una clave de sesión a partir de una clave maestra que es definida para un par de transmisor y receptor. La generación de un par de clave maestra se encuentra fuera del alcance del presente proyecto ya que es producto de una negociación que se realiza en los protocolos de capa superior del sistema.

Una vez generada la clave maestra y realizado el intercambio de claves de cuatro vías, se producen dos claves de 128 bits, una que será utilizada para autenticación y otra que junto con el *cryptosync* será utilizada para encriptación.

El proceso de encriptación del sistema está basado en el estándar AES-128, y todos los paquetes de datos y de señalización, a excepción de los mensajes de *overhead* y de los mensajes utilizados para el intercambio de claves de cuatro vías, deben ser encriptados.

En cuanto a la autenticación es importante destacar que está basada en la especificación HMAC-SHA256 y que puede ser implementada en dos modos de operación. En el primer modo todos los paquetes deben ser autenticados utilizando una cabecera de autenticación que contiene una firma SHA-256, y en el segundo modo, con el objetivo de reducir el *overhead* producido por la autenticación, solamente se autentican los paquetes relacionados con el acceso del AT al sistema, incluyendo obviamente las peticiones y respuestas de conexión[8].

#### 2.1.5.4. *Handoff*

Se denomina *handoff* al procedimiento utilizado para transferir el servicio de una estación base a otra o de un punto de acceso a otro cuando el terminal de acceso abandona el área de cobertura de un sector o de una celda e ingresa al área de cobertura de otro sector o celda respectivamente. Los sistemas MBWA *Wideband* han sido diseñados para soportar los siguientes requerimientos en el proceso de *handoff*:

- **Soporte de un *handoff* rápido:** Con el objetivo de minimizar por un lado el impacto del *handoff* sobre el tráfico que pueda presentar una alta sensibilidad a los retardos, y por otro lado, el tiempo de respuesta del sistema ante rápidas variaciones en las componentes de pérdida durante la trayectoria del enlace en los canales utilizados por los sectores de servicio y por los sectores aledaños en escenarios con movilidad vehicular a altas velocidades y reutilización de frecuencias igual a uno.
- **Soporte de enlaces disjuntos:** Un enlace disjunto hace referencia a un enlace en el cual el AT puede ser servido por diferentes sectores en los enlaces de subida y de bajada, es decir que en este sentido el procedimiento de *handoff* debe permitir que el enlace de subida y de bajada sean servidos por diferentes sectores, siempre y cuando esos sectores de servicio sean los mejores de entre todos los que se encuentren disponibles para el cambio.
- **Utilización de un *overhead* de señalización reducido:** Este aspecto toma una mayor importancia cuando un *handoff* rápido es utilizado para obtener ganancias rápidas en recepciones que se realicen con una movilidad a velocidad peatonal, o cuando la velocidad de *handoff* debe ser mayor con el objetivo de soportar movilidades a altas velocidades de tipo vehicular.

El sector desde el cual el AT recibió el último Bloque de Asignación del Enlace de Bajada se conoce como sector de servicio del enlace de bajada, y el sector desde el cual el AT recibió el último Bloque de Asignación del Enlace de Subida se conoce como sector de servicio del enlace de subida; aunque los sectores de servicio para ambos enlaces de un AT pueden ser asignados por la AN por medio de bloques de asignación especiales para *handoff*.

Constantemente el AT se encuentra monitorizando los sectores de servicio del enlace de bajada y de subida y los canales SSCH relacionados con dichos sectores, todo con el objetivo de posibilitar un rápido procedimiento de *handoff* cuando este sea requerido. El procedimiento de *handoff* hace referencia a un cambio en los sectores de servicio del enlace de bajada o del enlace de subida de un determinado AT, el mismo que se produce cuando el AT recibe un bloque de asignación de enlace desde algún sector de servicio deseado que debe ser diferente al sector que en ese momento se encuentra sirviendo al AT, o cuando el AT recibe un bloque de asignación de enlace de *handoff* procedente de su actual sector de servicio. Un AT puede llevar a cabo un *handoff* hacia cualquier sector que se encuentre formando parte de su *Active Set*, y todo nuevo sector que ingresa al *Active Set* se convierte

en el sector de servicio.

La conmutación rápida que se pretende alcanzar con el procedimiento de *handoff* tiene principalmente dos objetivos, el primero es no introducir ninguna pérdida de paquetes hacia las capas superiores, al mismo tiempo que se permitan transmisiones ininterrumpidas hacia el AT; y el segundo consiste en minimizar las comunicaciones de *backhaul* requeridas entre los diferentes puntos de acceso en el *Active Set*. En este sentido existe una especie de negociación entre la cantidad de comunicaciones de *backhaul* que deben ser requeridas y las latencias de *handoff* que pueden ser logradas, siendo el objetivo alcanzar un equilibrio entre estos dos elementos.

Con el objetivo de continuar con las transmisiones de datos ininterrumpidas al momento de cambiar de un sector de servicio a otro, el nuevo sector de servicio necesita conocer la visión de estado del protocolo RLP para el enlace de bajada, siendo definida la visión de estado del protocolo RLP como los datos recibidos en el punto de acceso de anclaje y que aún no han sido transmitidos y los datos que necesitan ser retransmitidos basándose en los mensajes de estado de recepción enviados por el AT. Este estado del protocolo RLP es transferido al nuevo sector de servicio como parte de la negociación de *handoff* de capa 2 que se lleva a cabo.

Para llevar a cabo un procedimiento de *handoff* el sistema debe realizar una gestión de su *Active Set* y de los sectores que forman parte del mismo, para lo cual hace uso del Protocolo de Gestión de *Active Set* descrito en secciones anteriores. El proceso que se lleva a cabo puede resumirse básicamente en los siguientes cuatro pasos.

- El AT realiza mediciones del valor de SINR en los pilotos sugeridos por la AN y en los pilotos que de manera autónoma puede buscar el propio AT. Luego de realizar las mediciones filtra los valores medidos con el objetivo de eliminar las componentes de ruido que puedan encontrarse en las mediciones, y finalmente reporta los valores filtrados a la AN haciendo uso del sector de servicio del enlace de subida.
- Basándose en los reportes del valor de SINR que recibe del AT, la AN determina el *Active Set* para ese AT. A cada uno de los sectores que forma parte de ese *Active Set* se le asigna un índice o identificador por medio de un campo de tres bits que es utilizado en el CQI del enlace de subida y en los canales de petición.
- La AN les asigna recursos de control dedicados a los miembros de un *Active Set* para un AT, asigna también un MAC ID para el AT en cada sector miembro del

*Active Set* y posteriormente transmite un mensaje de asignación de *Active Set* al AT utilizando el sector de servicio del enlace de bajada.

- Una vez formado el *Active Set* en el AT, este monitoriza los canales de asignación correspondientes a los miembros de su *Active Set* que actualmente se encuentran prestándole servicio en los enlaces de bajada y de subida, así como también los canales de asignación de los sectores de servicio deseados para ambos enlaces, entendiendo que los sectores de servicio deseados son aquellos que el AT ha determinado como los mejores sectores a considerar para un *handoff* [8].

### Procedimiento de *Handoff* en el Enlace de Bajada

El procedimiento de *handoff* en el enlace de bajada se completa en cinco pasos básicos que son: Selección, Indicación, Señalización y Detección, Transferencia de Estado RLP, y Finalización.

- **Selección:** La selección del sector de servicio del enlace de bajada se basa principalmente en la medición de los pilotos realizada previamente para este enlace.
- **Indicación:** Una vez que ha sido seleccionado el sector deseado para el procedimiento de *handoff*, el AT envía una petición de *handoff* de enlace de bajada al sector de servicio deseado.
- **Señalización y Detección:** Todos los canales CQI, con excepción de los pertenecientes al sector objetivo del *handoff*, pasan por un proceso de *scrambling* utilizando el mismo código del sector de servicio. Todos los miembros del *Active Set* incluyendo el sector de servicio deseado conocen el sector de servicio actual del AT y por consiguiente son capaces de decodificar los valores de CQI que les son enviadas. Una decodificación exitosa del CQI transportando una petición de *handoff* hacia el sector de servicio deseado puede considerarse formalmente como una petición de *handoff* para el enlace de bajada.
- **Transferencia de Estado RLP:** Cuando el sector de servicio deseado decodifica un CQI recibido desde un AT que solicita *handoff*, este inmediatamente envía mensajes de *backhaul* para indicar el *handoff* que se encuentra en proceso y para solicitar el estado RLP de ese AT al sector de servicio activo en ese momento.
- **Finalización:** Una vez que el sector de servicio deseado recibe el estado RLP del AT, envía un bloque de asignación de enlace de bajada hacia el AT por medio del

canal SSCH. Este bloque es enviado con el objetivo de indicar la finalización de la conmutación de sector de servicio que se realiza o en otras palabras la terminación exitosa del procedimiento de *handoff* del enlace de bajada de un AT.

La Figura 2.73 muestra el flujo de mensajes y datos utilizado en el proceso de *handoff* para el enlace de bajada.

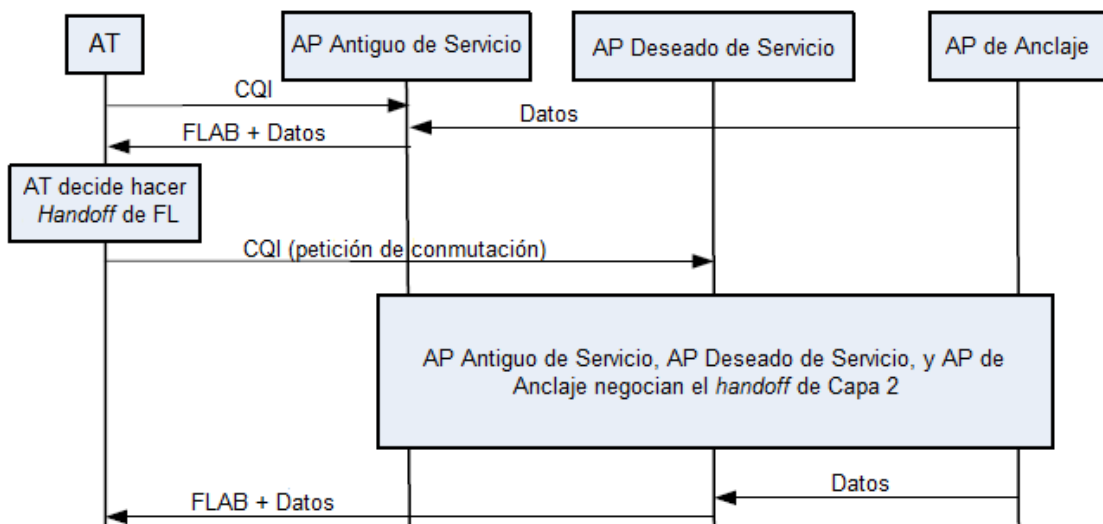


Figura 2.73: *Handoff* en el Enlace de Bajada

Adicionalmente a los pasos descritos anteriormente, las siguientes consideraciones son también tomadas en cuenta para el desarrollo del *handoff* del enlace de bajada.

Si bien es cierto que la selección del sector de servicio se basa en las mediciones de los pilotos del enlace de bajada, es necesario también que se tomen en cuenta los correspondientes indicadores de calidad del canal para el enlace de subida; esto debido a que los sectores con una calidad de canal demasiado pobre en el enlace de subida no podrán ser incluidos en la lista de sectores considerados, por consiguiente los nuevos sectores de servicio del enlace de bajada deben presentar una suficiente calidad de canal para el enlace de subida.

El AT ignora siempre cualquier bloque de asignación de enlace de bajada recibido desde un sector de servicio anterior después de que ha recibido el bloque de asignación enviado desde el sector de servicio deseado. Esto se debe a que después de haber recibido el bloque de asignación del sector deseado, el cambio de sector ha sido completamente terminado, y por ende el sector de servicio anterior no actúa ni como sector de servicio



actual ni como sector de servicio deseado, con la consecuente restricción de que el AT ya no recibirá más los bloques de asignación que sean enviados por él.

Después de que el AT ha solicitado un procedimiento de *handoff* todavía continúa recibiendo servicio por parte del sector que será cambiado, ya que dicho sector detendrá la asignación de nuevos paquetes solamente cuando recibe la petición de estado RLP por parte del sector de servicio deseado. Una vez finalizados todos los procesos de transmisión hacia el AT, el sector de servicio anterior envía el estado RLP al sector deseado y solamente en ese momento finaliza sus asignaciones y transmisiones. Este esquema de funcionamiento busca minimizar la duración de un posible corte de servicio durante el *handoff*.

Finalmente se debe considerar que toda la señalización utilizada se realiza solamente a través del canal CQI, sin necesidad de involucrar canales adicionales para las indicaciones avanzadas de *handoff* [8].

### Procedimiento de *Handoff* en el Enlace de Subida

El procedimiento de *handoff* en el enlace de subida se produce en cuatro pasos a diferencia del *handoff* en el enlace de bajada que se completa en cinco pasos. La diferencia entre estos procedimientos es la transferencia del estado RLP que en el *handoff* para el enlace de subida no se lleva a cabo. Las cuatro etapas que forman el proceso son las siguientes:

- **Selección:** La selección del sector de servicio se basa en la estimación del CQI. Todos los miembros del *Active Set* a los cuales el AT envía el valor de CQI responden con un comando de control de aumento o disminución de potencia enviado a ese AT, comando que está basado en las estimaciones CQI y que representa un medio para obtener la estimación de la calidad del canal del enlace de subida entre el AT y el sector.
- **Indicación:** La etapa de indicación consiste en informarle acerca del procedimiento de *handoff* al sector deseado por medio de su propio canal REQCH.
- **Señalización y Detección:** Una vez que se ha realizado la indicación del sector deseado, el AT envía la petición hacia ese sector. Cada punto de acceso en el *Active Set* solamente puede decodificar las peticiones que van dirigidas hacia él con el objetivo de evitar cambios de sector no deseados, y una decodificación exitosa puede ser ya considerada como una petición de *handoff* en el enlace de subida.

- **Finalización:** El proceso se completa con el envío de un bloque de asignación de enlace de subida desde el sector hacia el AT.

La Figura 2.74 ilustra el procedimiento de *handoff* llevado a cabo en el enlace de subida.

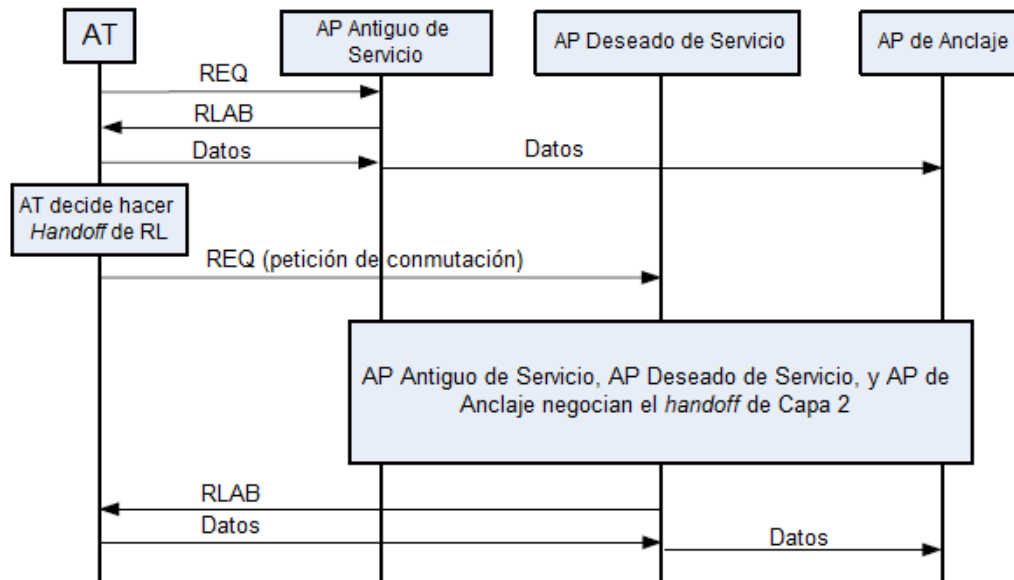


Figura 2.74: *Handoff* en el Enlace de Subida

Todas las consideraciones analizadas en la parte final de la descripción del proceso en el enlace de bajada pueden ser aplicadas también para el enlace de subida[8].

#### 2.1.5.5. *Handoff* Inter-Frecuencia e Inter-Tecnología de Acceso de Radio

Los sistemas MBWA pueden ser desplegados en múltiples frecuencias de operación, razón por la cual es necesario que el sistema sea capaz de ejecutar un procedimiento de *handoff* hacia otros sistemas de frecuencia cuando se encuentre tanto en modo Suspendido como Conectado. Además, los sistemas desarrollados bajo las especificaciones 802.20 deben tener la capacidad de ser desplegados en coexistencia con otras tecnologías de acceso de radio, tecnologías que pueden ser celulares como CDMA2000, WCDMA, GSM/GPRS/EDGE, o sistemas WLAN como por ejemplo 802.11. Ante este escenario de coexistencia se presenta también la necesidad de proporcionar mecanismos de *handoff* hacia estas tecnologías, con el objetivo de posibilitar que los terminales de acceso puedan operar también en alguna de estas otras tecnologías siempre y cuando estén en capacidad de soportarla. Uno de los requerimientos más importantes es la necesidad de permitir la recepción de mensajes de

paginación desde otras tecnologías de acceso de radio, de tal manera que por medio de estas tecnologías el usuario pueda acceder a servicios que no se encuentran disponibles en el sistema MBWA al cual se encuentra conectado[8].

### ***Handoff* Inter-Frecuencia**

El *handoff* Inter-Frecuencia debe ser soportado tanto en el modo Suspendido como en el Conectado. Al igual que en el procedimiento de *handoff* entre sectores descrito en la sección anterior, este procedimiento utiliza el concepto de gestión de *Active Set* para ser llevado a cabo; con la diferencia que para facilitar el mecanismo Inter-Frecuencia en este caso el *Active Set* es extendido para incluir miembros de una o más frecuencias, es decir que está formado por sectores pertenecientes a una o más frecuencias y que pueden encontrarse sincronizados o no sincronizados uno con respecto al otro.

Con el objetivo de facilitar la inclusión de sectores de otra frecuencia en el *Active Set* de un AT, los sistemas *Wideband* tienen la capacidad de permitir que la red de acceso pueda especificar vecinos de otras frecuencias en el mensaje de Parámetros de Sector enviado por medio del Protocolo de Mensajes de *Overhead* y también miembros de otra frecuencia en el mensaje de Asignación de *Active Set* perteneciente al Protocolo de Gestión correspondiente. Con el mismo objetivo, en el lado del AT se debe manejar la habilidad de reportar las mediciones de pilotos de otra frecuencia por medio del mensaje de Reporte de Pilotos manejado por el Protocolo de Gestión de *Active Set*.

Para poder enviar los reportes relacionados con los pilotos de sectores en otras frecuencias el AT debe realizar primeramente las mediciones que le permitan obtener las estimaciones correspondientes, para lo cual debe hacerse uso del mecanismo *Tune Away* descrito en la sección relacionada con el Protocolo de Estado Conectado. Hay que mencionar que este mecanismo también debe ser utilizado para el *handoff* Inter-Tecnología de Acceso de Radio para poder escuchar mensajes de paginación enviados desde otras tecnologías[8].

### ***Handoff* Inter-Tecnología de Acceso de Radio**

Este mecanismo también puede ser soportado tanto en el modo Suspendido como en el modo Conectado y está diseñado para facilitar el proceso de *handoff* que se realiza desde un sistema MBWA hacia otras tecnologías de acceso de radio, para lo cual se utiliza el mismo procedimiento *Tune Away* mencionado anteriormente y que permite realizar las

mediciones de los pilotos de las otras tecnologías de acceso. Adicionalmente los mensajes de Parámetros de Sector del Protocolo de Gestión de *Overhead* proporcionan la capacidad para enviar listas de vecinos que operan con otras tecnologías.

Estas dos características en conjunto le permiten al AT encontrar redes de acceso de otras tecnologías en sus proximidades y las mediciones de sus respectivos pilotos.

Para la implementación de este tipo de *handoff* el sistema debe permitir la recepción de mensajes de paginación provenientes de otras tecnologías, para lo cual se utilizan dos técnicas diferentes.

- La primera contempla la utilización del mecanismo *Tune Away*, el cual es muy útil cuando el sistema MBWA no tiene ningún tipo de integración en el núcleo de la red con las otras tecnologías de radio coexistentes. Al no existir ningún tipo de integración entre las diferentes redes la única manera de obtener mensajes de paginación desde otras tecnologías es escuchando sus canales de paginación en intervalos de tiempo específicos.
- La segunda consiste en implementar el envío de un tipo de mensajes denominados InterRAT y que proporcionan la capacidad para encapsular la señalización de Capa 2 de otras tecnologías dentro de la señalización de Capa 2 de MBWA. Esta técnica resulta de mucha utilidad cuando los núcleos de red de dos tecnologías diferentes han establecido un enlace de comunicación[8].

## 2.2. Modo de Operación 625k-MC o *Best-Wine*

En el Capítulo 1 se realizó una descripción de las principales características de los sistemas *Best-Wine*, más a continuación se muestra un compendio de las características más sobresalientes que presenta este segundo modo de operación de MBWA.

- Alta Eficiencia Espectral con un valor de 13.4 Bits/s/Hz/sector con cuatro canales espaciales.
- Tasas de datos máximas para los usuarios de 1.493 Mbps en *downlink* y 571 Kbps en *uplink* cuando se trabaja con un solo canal de 625 KHz, y de 5.97 Mbps en *downlink* y 2.28 Mbps en *uplink* cuando se trabaja con bloques de asignación TDD de 2.5 MHz.

- Cobertura mejorada.
- Mayor capacidad para manejar más de 100 sesiones activas por sector.
- Requerimientos de espectro reducidos y eficiente reutilización del mismo.
- Eficiente mecanismo de *handoff*.
- Eficiente implementación de seguridades por medio de procedimientos de autenticación, encriptación, y AES.

## 2.2.1. Arquitectura de Red y Protocolos

### 2.2.1.1. Modelo de Referencia de la Arquitectura de Red

El modelo referencial de la arquitectura de red de los sistemas MBWA 625k-MC incluye la red de acceso, las estaciones base, los terminales de usuario, y la interfaz de aire entre el terminal de usuario y las estaciones base en la red de acceso. Este modelo referencia de arquitectura para el sistema se muestra en la Figura 2.75.

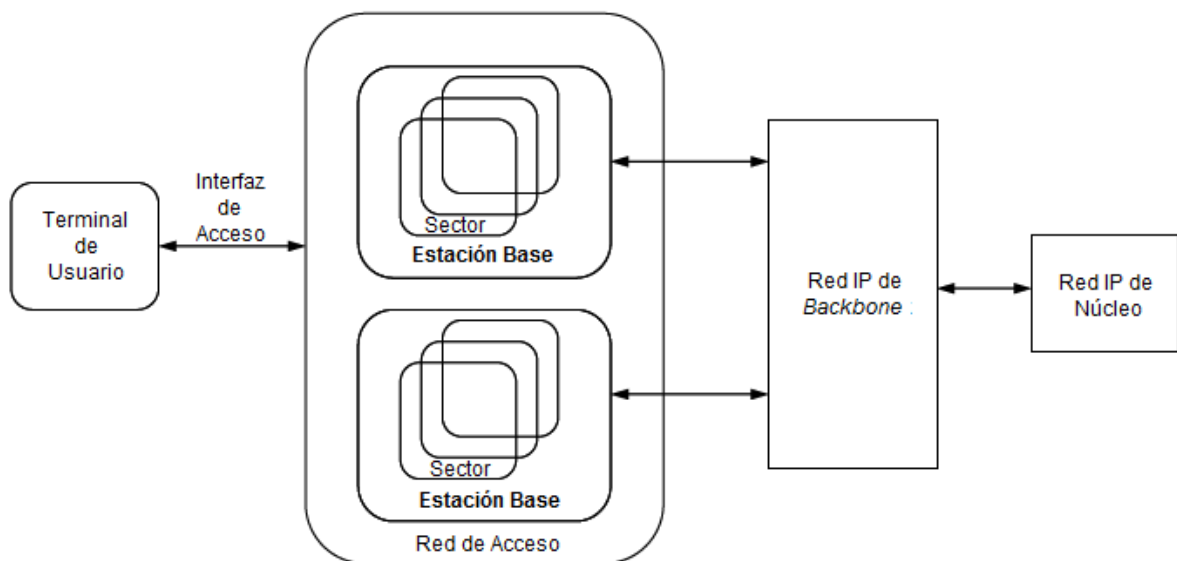


Figura 2.75: Modelo de Referencia de la Arquitectura de Red del Modo 625k-MC

Como puede observarse en la Figura 2.75 la arquitectura de red consta de cuatro unidades funcionales que se describen a continuación.

- Red de Acceso o *Access Network* (AN): Es el equipamiento de la red, formado por un conjunto de radio bases, que proporciona conectividad de capa IP entre una red IP, que casi siempre es Internet, y los terminales de usuario.
- Estación Base o *Base Station* (BS): Es el dispositivo en la red de acceso se que comunica sobre la interfaz de aire, por medio de uno o más sectores, con los terminales de usuario. Las estaciones base además son las encargadas de coordinar la gestión de los atributos de la interfaz de aire.
- Terminal de Usuario o *User Terminal* (UT): Dispositivo que proporciona conectividad de datos al usuario de un dispositivo de usuario final. Un terminal de usuario puede ser conectado o otro dispositivo como por ejemplo una computadora, o puede encontrarse contenido en un dispositivo propio como por ejemplo un PDA o un teléfono celular.
- Sector: Se define como un conjunto de canales de Capa Física transmitido entre la estación base y los terminales de usuario dentro de una asignación de frecuencias dada. Un sector está formado por dos canales de radio, uno para el enlace de subida y otro para el de bajada[6].

#### 2.2.1.2. Arquitectura del Sistema

El sistema MBTDD 625k-MC emplea tecnologías de arreglos adaptativos de antenas y SDMA para realizar la transferencia de tráfico IP de banda ancha sobre una interfaz de aire que utiliza un modelo de protocolos en capas. Las capas Física y de Enlace de Datos se manejan de manera distinta y separada con el objetivo de clarificar la operación de la interfaz inalámbrica. Las capas superiores que se integran posteriormente permiten implementar una arquitectura extremo a extremo basada en VPN y PPP, a través de la cual el usuario establece una sesión con el proveedor de servicio de internet deseado para el transporte de paquetes IP. La estructura de una red *Best-Wire* se ilustra en la Figura 2.76[10].

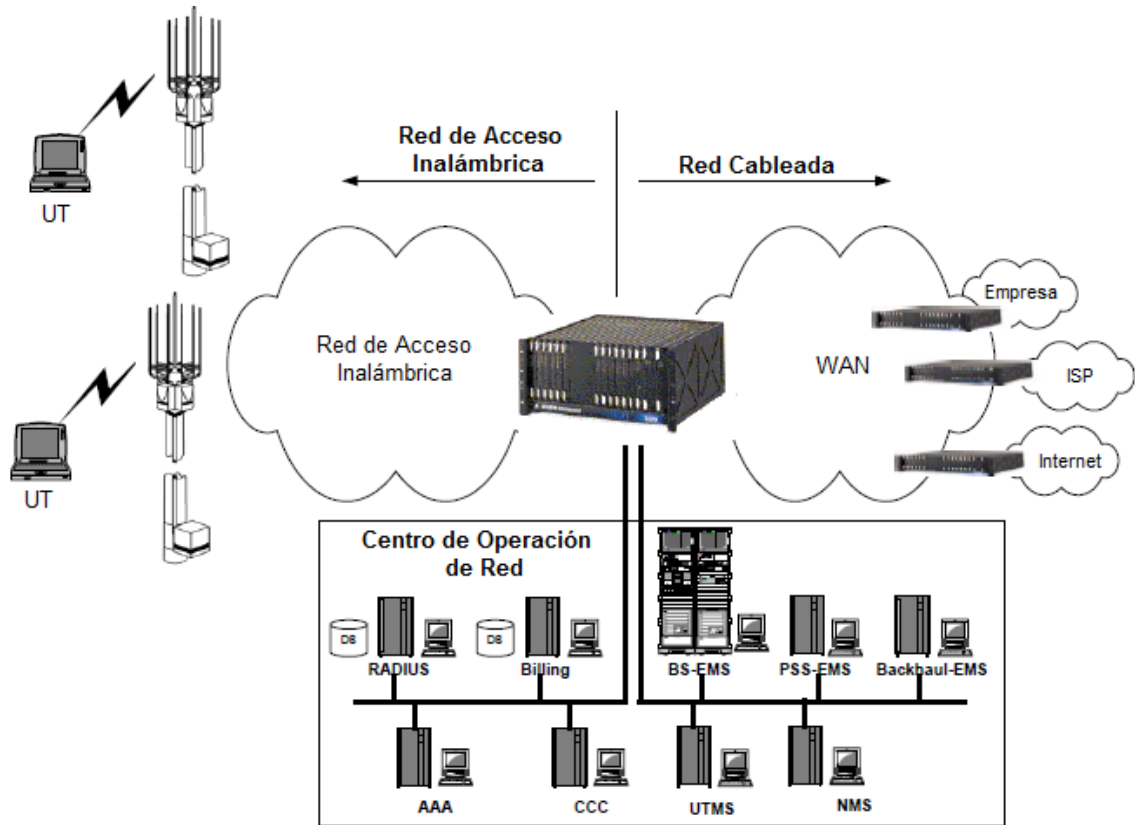


Figura 2.76: Estructura de una Red *Best-Wire*

### 2.2.1.3. Arquitectura de Protocolos

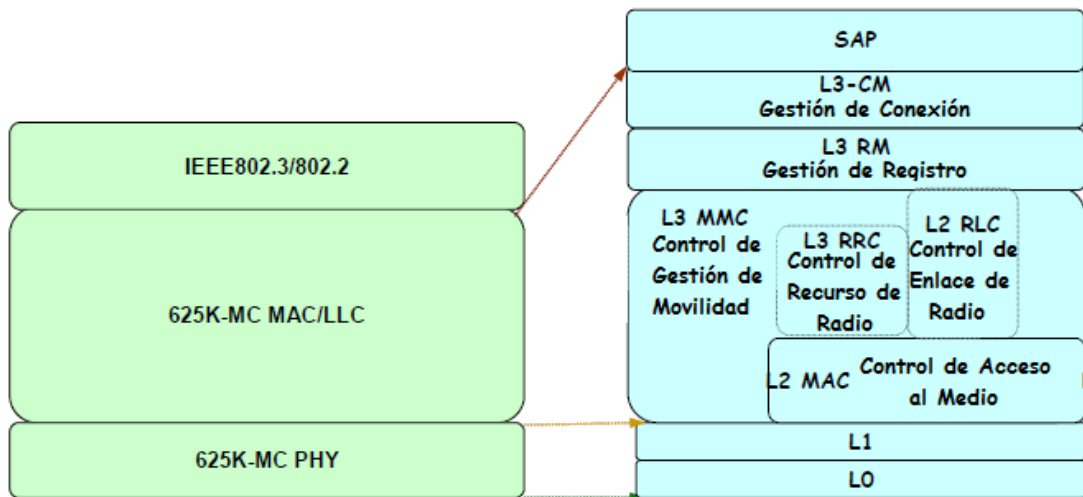


Figura 2.77: Arquitectura de Protocolos PHY/MAC/LLC del Modo 625k-MC

Las especificaciones de Radio Frecuencia, Capa Física, Subcapa MAC, y Subcapa LLC del modo 625k-MC están basadas en las especificaciones de las Capas L0, L1, L2, y L3

definidas para HC-SDMA en la norma ATIS-0700004.2005. La Figura 2.77 muestra el modelo referencial de la arquitectura de protocolos en capas utilizado en los sistemas MBWA *Best-Wine*.

Como puede observarse, la relación existente entre las capas del modelo 625k-MC y las capas de HC-SDMA está representada en la Figura 2.77. Las especificaciones de Capa Física 625k-MC están basadas en las definiciones de los protocolos de Capa 1 y Capa 0 de HC-SDMA, las especificaciones MAC del modo *Best-Wine* toman como referencia la definición de su correspondiente Capa 2 en el modelo HC-SDMA, y finalmente, las especificaciones LLC de este modo de operación de MBWA se basan en las Capas 2 y 3 de los sistemas SDMA de alta capacidad.

Dentro de la pila de protocolos mostrada anteriormente se incluyen protocolos de los estándares IEEE 802.3 y 802.2. El tráfico de datos desde un terminal de usuario se transmite encapsulado en los protocolos de IEEE 802.2 y 802.3 por encima de la Capa MAC de 625k-MC, y lo mismo sucede con el tráfico que se envía desde la estación base hacia un terminal de usuario; mientras que los mensajes de gestión y control son intercambiados entre el terminal de usuario y la estación base sin ningún tipo de encapsulación a través de la interfaz de aire. Esta pila de protocolos permite a los sistemas 625k-MC posibilitar una conectividad IP extremo a extremo sobre PPP entre el proveedor de servicio y el usuario final[6].

**Tabla 2.10: Funciones de las Capas del Modo 625k-MC**

Capa	Funciones Definidas
<b>Capa 1 (PHY)</b>	Rendimiento del Radio (Transmisión y Recepción) Modulación y Codificación Pruebas de Rendimiento
<b>Capa 2 (MAC)</b>	Estructura de Canal (Tramas y Ranuras) Gestión de Acceso Control de Datos Flujo sobre Canales Lógicos Mapeo entre Canales Lógicos y Físicos Petición Automática de Repetición (ARQ)
<b>Capa 3 (DLC/LLC)</b>	Gestión de Conexión, Registro, y Movilidad (CM, RM, MMC) Control de Recursos de Radio (RRC) Autenticación y Seguridad (i-HAP, i-TAP, i-SEC) Segmentación de Paquetes, Agregación de Ranuras Control de Potencia Adaptación del Enlace



De manera general, la arquitectura de protocolos de la interfaz de aire puede ser dividida en tres capas, que son la Capa Física o PHY (Capa 1), Capa de Control de Acceso al Medio o MAC (Capa 2), y la Capa DLC/LLC o Control de Enlace de Datos/Control de Enlace Lógico (Capa 3). En la Tabla 2.10 presentada anteriormente se muestra un compendio de las funciones asumidas por cada una de las capas en la interfaz de aire[10].

### 2.2.2. Especificaciones de la Capa Física

La Capa Física está caracterizada por una estructura TDD/TDMA con una longitud de trama de 5 milisegundos que contiene 3 ráfagas del enlace de subida y 3 ráfagas del enlace de bajada. Cada una de las ráfagas de la trama está contenida en un *timeslot* o ranura de tiempo, y los canales lógicos de la interfaz de aire son asignados a canales físicos dentro de esta estructura.

En el afán de buscar una alta eficiencia espectral, muchas de las características de la Capa Física son diseñadas específicamente para soportar el uso efectivo de antenas adaptativas, como por ejemplo el uso de secuencias de entrenamiento para SDMA que son incorporadas en ciertas estructuras de ráfaga[10].

#### 2.2.2.1. Estructura de la Trama y Ranura de Tiempo

La estructura de la Trama TDD/TDMA utilizada en los sistemas MBTDD 625k-MC se encuentra ilustrada en la Figura 2.78.

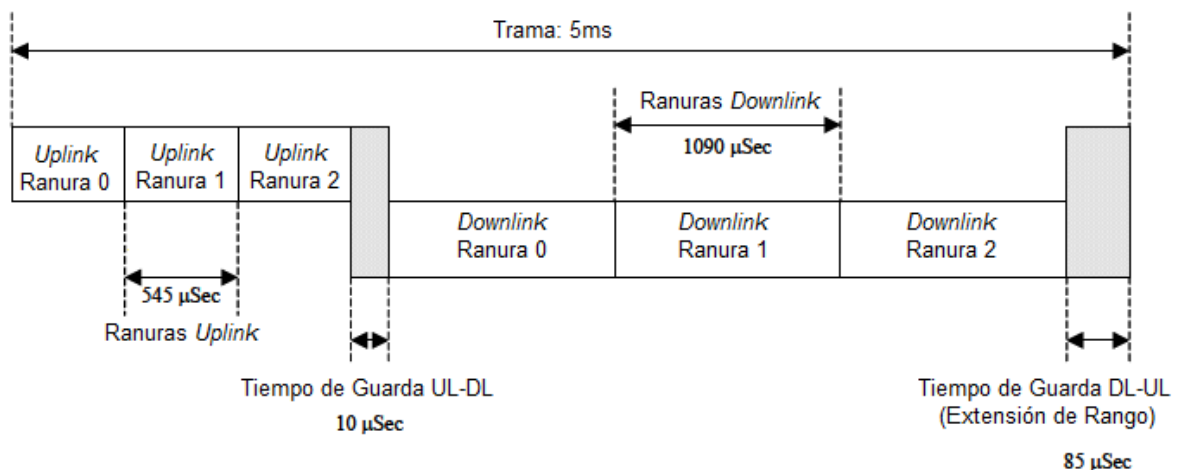


Figura 2.78: Estructura de la Trama TDD/TDMA utilizada en el modo *Best-Of-Both*

La estructura de trama TDD/TDMA mostrada en la Figura 2.78 está diseñada para la

implementación en una canalización angosta de frecuencia, con un ancho de canal de 625 KHz. Esta estructura de trama con la especificación de canales de banda angosta tiene muchas ventajas, pero principalmente se pueden citar tres:

- Anteponer las ranuras del enlace de subida a las ranuras del enlace de bajada facilita la implementación de filtros espaciales para los arreglos adaptativos de antenas en la estación base.
- El ancho de banda angosto de la portadora simplifica la ecualización, la estimación del canal, y el despliegue de la red en el espectro TDD disponible.
- La utilización de canales de frecuencia angostos reduce la latencia de acceso por medio, ya que se proporcionan muchos canales de acceso.

El periodo de extensión de rango de 85 microsegundos que se utiliza en la trama corresponde a un rango de 12.7 Km. adecuado para la cobertura de área metropolitana que se pretende alcanzar con los sistemas MBWA. Si el tiempo de guarda entre las ráfagas en la interfaz de aire se explota adecuadamente el periodo efectivo de extensión de rango llega a ser de 100 microsegundos y permite alcanzar al rango máximo por encima de los 15 Km.

La extensión del rango puede obtenerse con un *overhead* menor al 2% del periodo de trama, y su costo es mayor que las compensaciones por los beneficios TDD y antenas efectivas que proporciona.

Todas las redes TDD necesitan de una sincronización muy exacta entre todas las estaciones base o puntos de acceso con que cuenta. Cualquier referencia de tiempo con una estabilidad de  $\pm 1$  periodo de símbolo y que se encuentre disponible en toda la red puede ser utilizada para llevar a cabo la sincronización inter-celda en las estaciones base, mientras que los terminales de usuario o terminales de acceso deben derivar su referencia de tiempo a partir de las estaciones base que ya se encuentran sincronizadas.

Una sola portadora y un par de ranuras de tiempo son reservadas en toda la red para el envío de la estructura de supertrama de *broadcast*, la misma que se encuentra sincronizada en todas las estaciones base de la red.

La estructura de una supertrama se muestra en la Figura 2.79.

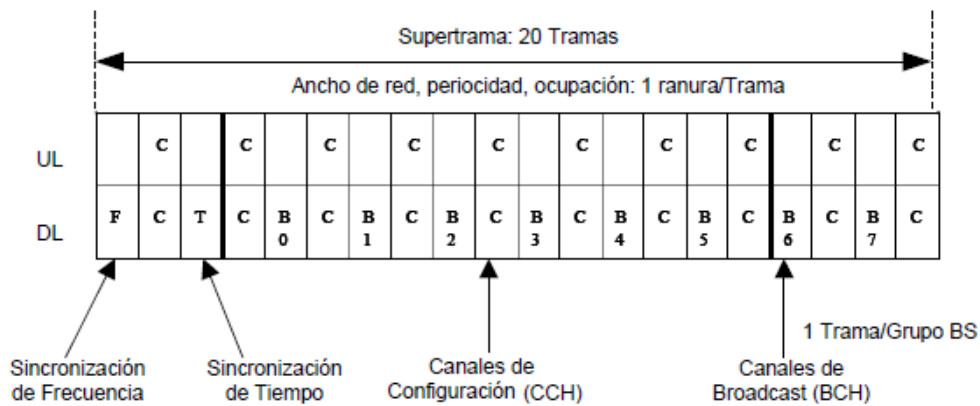


Figura 2.79: Estructura de una Supertrama

Como puede observarse, la supertrama inicia con una ráfaga del enlace de bajada, notada como F, y diseñada para facilitar la estimación de *offset* de frecuencia entre el oscilador local del terminal de usuario y la referencia de frecuencia de la estación base. De manera similar una ráfaga de tipo T está dedicada para la estimación de tiempo de la trama.

Un terminal de usuario puede detectar todas las estaciones base en su proximidad utilizando la misma portadora BCH de los Canales de *Broadcast*, y una vez que han sido detectadas las ordena de acuerdo a la calidad de su canal de bajada hacia el UT, de tal manera que se forman grupos con las estaciones base detectadas y clasificadas. Las ranuras del enlace de bajada etiquetadas desde B0 a B7 son dedicadas una a cada uno de los grupos pre-asignados de estaciones base, con el objetivo de conseguir que las estaciones base pertenecientes a un grupo puedan transmitir solamente por la ranura asignada a ese grupo; así por ejemplo, las estaciones base pertenecientes al grupo 5 podrán enviar ráfagas a través del enlace de bajada solamente en las ranuras con etiqueta B5. Es importante destacar que la adquisición de un BCH desde un grupo de estaciones base funcionará de mejor manera si la interferencia proveniente desde otras estaciones base en el mismo grupo es minimizada.

Al menos siete grupos de estaciones base son requeridos para asegurar que solamente una estación base desde el primer nivel transmita durante la ranura asignada para su grupo en la supertrama, y la utilización de ocho grupos de estaciones base es conveniente para futuros despliegues que se realizarán a medida que la red evolucione.

Finalmente las ranuras restantes en la supertrama y etiquetadas con la letra C corresponden a ráfagas pares de los enlaces de subida y de bajada que pueden utilizarse para los

Canales de Configuración (CCH).

En cuanto a la agregación de portadoras para la formación del canal, se utiliza una tasa de símbolos de 500 KSímbolos/s en todas las circunstancias y un filtro de raíz cuadrada de coseno elevado o *root-raised cosine* al 25 % con el objetivo de obtener el espaciamiento entre portadoras de 625 KHz. A continuación en la Figura 2.80 se puede observar un ejemplo de la agregación de portadoras y el resultado final con un bloque de asignación de 2.5 MHz.

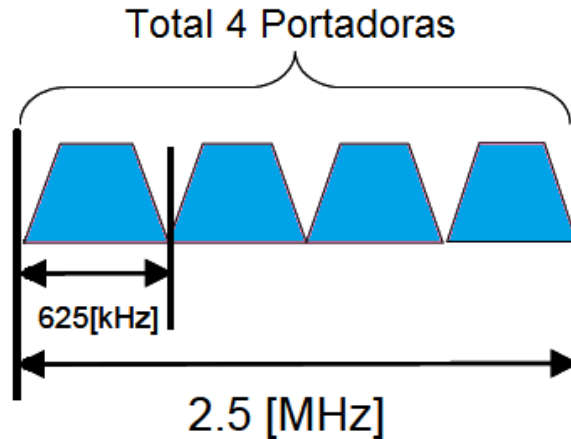


Figura 2.80: Agregación de Portadoras

El recurso físico básico en el sistema es el canal espacial, el mismo que se encuentra formado por una portadora, un par de ranuras de tiempo de los enlaces de subida y de bajada, y un índice de canal espacial. Varios canales espaciales pueden ser soportados simultáneamente en el mismo canal convencional por medio de la utilización de múltiples antenas y del procesamiento de antenas adaptativas[10].

#### 2.2.2.2. Codificación y Modulación

Como se mencionó en la sección anterior, la tasa de símbolos de 500 KSímbolos/s se mantiene constante en todos los *slots* o ranuras de tiempo de la trama, pero a diferencia de la tasa símbolos, el orden de modulación sí varía y es adaptable tanto en el enlace de subida como en el de bajada, aunque en cada uno de los enlaces puede adaptarse de manera independiente. La adaptación del orden de modulación depende principalmente de dos factores que son la calidad del canal utilizado por el usuario, y los requerimientos de la tasa de datos para cada usuario. En los sistemas MBWA 625k-MC pueden ser soportados ocho esquemas de modulación que son utilizados en diferentes canales de acuerdo a los

requerimientos de cada canal, tal como se muestra en la Tabla 2.11.

**Tabla 2.11: Esquemas de Modulación en los Canales Lógicos**

Esquema de Modulación	Canales Lógicos
BPSK	Canal de Control (CCH) Canal de Acceso Randómico (RACH) Canal de Control Asociado Rápido (FACCH)
QPSK	Canal de Difusión (BCH) Canal de Paginación (PCH)
BPSK QPSK 8PSK 12QAM 16QAM 24QAM 32QAM 64QAM	Canal de Tráfico (TCH)

A la combinación entre diferentes esquemas de modulación y codificación se la conoce como *ModClass*, y un conjunto de varios *ModClasses* es empleado para maximizar el *throughput* que generalmente se encuentra sujeto a las condiciones del enlace y a la tasa de error de tramas (FER). Las diversas adaptaciones de *ModClass* y el control de potencia se realizan de manera independiente en los enlaces de bajada y de subida en los canales de tráfico.

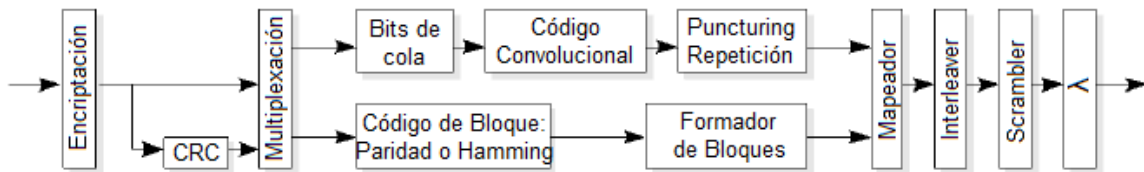
Comúnmente los canales que tienen una menor ganancia en el procesamiento espectral, tales como los canales de difusión y paginación, son transmitidos con una codificación de canal más amplia que los canales de tráfico que generalmente manejan una mayor ganancia espectral; todo esto con el objetivo de balancear las pérdidas de trayecto tolerables en todos los tipos de canal.

Al igual que los sistemas *Wideband*, los sistemas *Best-Wire* emplean mecanismos de procesamiento espacial, múltiples formatos de modulación y codificación de canal, y una ecualización con un entrenamiento de datos por ráfaga, con el objetivo de manejar adecuadamente los desafíos que presenta una comunicación de radio frecuencia en un ambiente con movilidad y sin línea de vista. Todos los procedimientos definidos y empleados a nivel de esta Capa Física buscan en conjunto posibilitar que el sistema esté en capacidad de manejar tasas de datos por usuario mayores a 1 Mbps por cada portadora en el enlace de bajada y mayores a 300 Kbps por portadora en el enlace de subida, tal y como se define

en los objetivos de la tecnología MBWA presentados en el estándar IEEE 802.20.

Como puede observarse en la Tabla 2.11 el conjunto de clases de modulación utilizado es amplio y bastante flexible, y por lo general la mayoría de los canales lógicos son transmitidos utilizando las clases de modulación de orden menor como BPSK y QPSK, esto debido a que estos canales con un ancho de banda reducido deben ser recibidos correctamente con una alta probabilidad; mientras que las clases de modulación de orden superior tales como 24, 32 o 64 QAM están destinadas principalmente para ser utilizadas en los canales de tráfico.

El esquema de modulación y codificación utilizado permite alcanzar tasas que van desde 0.5 hasta 5.5 bits/Símbolo dependiendo del tipo de modulación y codificación empleadas, así como del procedimiento de *puncturing* que también se lleva a cabo. El diagrama de bloques del sistema de modulación y codificación se muestra en la Figura 2.81.



**Figura 2.81: Diagrama de Bloques del Esquema de Codificación**

La codificación para la corrección de errores es proporcionada por un código convolutivo de tasa  $1/2$  con 256 estados y en algunos casos combinado con un código de bloques. En algunos *ModClasses* se aplica un proceso periódico de *puncturing* para incrementar la tasa del código convolutivo a  $2/3$ ,  $3/4$  o  $5/6$ . El procedimiento de repetición es aplicado solamente en el *ModClass0* para construir las ráfagas utilizadas para petición de acceso, asignación de acceso, y mensajes de configuración, pero no para las ráfagas de petición de configuración y de tráfico.

Los *ModClasses 6, 7, 8, 9, 10* utilizan en cambio un formador de bloques para generar conjuntos de señales de 12, 16, 24 y 64 QAM respectivamente; y es importante mencionar que los códigos de bloque utilizados pueden ser códigos de paridad para los *ModClasses 6, 7, 8, 9, 10* y códigos de *Hamming* para los *ModClasses 4 y 5*.

La Tabla 2.12 muestra una lista de las clases de modulación con sus respectivas tasas de bits/Símbolo y los parámetros de *puncturing*, de formación de bloques, y de codificación de bloques utilizados en cada caso.

Tabla 2.12: Tipos de Modulación y Tasas de Codificación

<i>ModClass</i>	Tasa Bits/Símbolo	Tipo de Modulación	Puncture	Formador de Bloque	Código de Bloque
0	0.5	BPSK	Repetición	-	-
1	0.67	BPSK	1 de 4	-	-
2	1.0	QPSK	-	-	-
3	1.5	QPSK	2 de 6	-	-
4	2.0	8PSK	-	-	(64,57)
5	2.5	8PSK	-	-	(64,57)
6	3.0	12QAM	2 de 6	3/4	(48,47)
7	3.5	16QAM	2 de 6	4/4	(64,63)
8	4.0	24QAM	2 de 6	5/4	(80,79)
9	4.5	32QAM	2 de 6	5/5	(80,79)
10	5.5	64QAM	2 de 5	6/6	(80,79)

Las tasas de codificación son asimétricas y varían desde 0.5 hasta 5.5 bits/Símbolo en el enlace de bajada y desde 0.5 hasta 3.5 bits/Símbolo en el enlace de subida, y a nivel general el control de errores por medio de la codificación se lleva a cabo a través de los siguientes procedimientos: utilización de un CRC de 16 bits para la carga útil de datos, codificación para el control de errores de tipo convolucional y de bloques, *interleaving* de bits, y *scrambling*. La elección de los códigos se hace en función de la clase de modulación utilizada.

Tabla 2.13: Tasas de Datos de Usuario por Clase de Modulación

<i>ModClass</i>	Tipo de Modulación	<i>Downlink</i> (Kbps)		<i>Uplink</i> (Kbps)	
		Tasa /Ranura	Tasa /Portadora	Tasa /Ranura	Tasa /Portadora
0	BPSK	35	106	6	19
1	BPSK	50	149	13	38
2	QPSK	82	245	26	77
3	QPSK	126	379	43	130
4	8PSK	162	485	58	173
5	8PSK	198	595	72	216
6	12QAM	262	787	98	293
7	16QAM	307	922	115	346
8	24QAM	354	1061	133	398
9	32QAM	378	1133	142	427
10	64QAM	498	1493	190	571

Indudablemente que la variación en las tasas de codificación y en los tipos de modulación ocasiona una variación resultante en las tasas de transmisión de datos, tal como puede

evidenciarse en la Tabla 2.13 presentada anteriormente, la misma que contiene las tasas de datos máximas por usuario que pueden alcanzarse tanto en el enlace de bajada como en el enlace de subida con cada tipo de modulación.

Cabe mencionar que las tasas de datos por portadora mostradas pueden ser alcanzadas con una agregación de tres ranuras utilizando una sola portadora de frecuencia en los dos enlaces. Tomando en cuenta que en este sistema se utiliza una agregación de cuatro portadoras en bloques de asignación de 2.5 MHz, la tasa máxima de datos por usuario se obtendría a partir de las siguientes expresiones[10].

### ***Enlace de Bajada***

$$1493 \text{ Kbps} \times 4 \text{ Portadoras} = 5,97 \text{ Mbps}$$

### ***Enlace de Subida***

$$571 \text{ Kbps} \times 4 \text{ Portadoras} = 2,28 \text{ Mbps}$$

#### **2.2.2.3. Soporte de Antenas Adaptativas**

En la estructura de trama mostrada en secciones anteriores se especifica que las ranuras del enlace de subida son apiladas delante de las ranuras del enlace de bajada, de manera que la firma espacial del enlace de bajada pueda incorporar la estimación recibida de la firma del enlace de subida.

En el proceso de transmisión cada ranura del enlace de subida es emparejada con una ranura del enlace de bajada, y la duración entre cualquier ranura emparejada del enlace de subida y de bajada es pequeña, generalmente de 1 o 2 milisegundos, con el objetivo de proteger a las condiciones del canal de posibles degradaciones en el grado de reciprocidad de canal existente entre las ranuras de ambos enlaces y por consiguiente de una degradación en el rendimiento de las antenas adaptativas.

La utilización de portadoras con un ancho de banda relativamente estrecho se hace también con el objetivo de obtener algoritmos de antenas adaptativas de baja complejidad, que obviamente derivarán en una menor complejidad de todo el sistema.



En la estructura de trama TDD/TDMA analizada se mencionaba también la presencia de secuencias de entrenamiento que están diseñadas para ofrecer una estimación apropiada y precisa del canal de propagación, y comúnmente en un par de portadora - ranura de tiempo determinado se le asigna a cada usuario una única secuencia de entrenamiento.

Generalmente en cualquier tipo de sistema inalámbrico, el rendimiento de un arreglo adaptativo de antenas es determinado por el número de elementos que lo conforman, y los sistemas MBTDD 625k-MC no son la excepción, quedando el rendimiento supeditado al número de antenas utilizadas que en el caso de las estaciones base o puntos de acceso puede ser de 9 o 12 y en el caso de los terminales de usuario de 1, 2 o 4[10].

### 2.2.3. Especificaciones de la Capa de Control de Acceso al Medio

La Capa de Control de Acceso al Medio, MAC, o Capa 2 como se conoce en los sistemas 625k-MC es la encargada de direccionar los mensajes de control y de datos hacia sus respectivos recursos físicos, para lo cual implementa dos modos de entrega de mensajes que son el Modo con Acuse de Recibo o *Acknowledged Mode* (AM) y el Modo sin Acuse de Recibo o *Unacknowledged Mode* (UM).

Los datos pertenecientes al modo AM son entregados por medio de un mecanismo de retransmisión direccionable por *bytes* similar al utilizado en TCP, el mismo que proporciona un procedimiento de transmisión confiable para los datos de la Capa 3 garantizando su preservación y la entrega ordenada de los *bytes* transmitidos. En este sistema la retransmisión es hecha directamente desde la estación base o terminal de usuario de manera que pueda minimizarse la latencia ARQ.

Las ráfagas de tráfico que circulan a través de esta capa están formadas por una etiqueta que identifica si la ráfaga pertenece al modo AM o UM y por los datos de usuario y de control, esto con el objetivo de permitir que múltiples mensajes puedan ser enviados a través de la interfaz de aire en una sola ráfaga de manera que se obtenga una máxima eficiencia y baja latencia al mismo tiempo.

Toda la información que se transporta a nivel de la Capa 2 está protegida por una fuerte encriptación que permite asegurar la confidencialidad de los datos tanto de control como de usuario[10].

### 2.2.3.1. Canales Lógicos y Tipos de Ráfaga

Un intercambio de información entre un terminal de usuario y una estación base se hace utilizando un número reducido de canales lógicos que son asignados a ráfagas físicas para su transmisión. Existe un tipo estándar de ráfaga para el enlace de bajada y para el enlace de subida que se utiliza de manera común en los canales lógicos RACH, TCH, y CCH del enlace de bajada y también en el canal FACCH común para ambos enlaces. El resto de canales lógicos conocidos como PCH y BCH del enlace de bajada y CCH del enlace de subida son transmitidos en ráfagas dedicados para ellos[10].

A continuación la Tabla 2.14 muestra los diferentes tipos de ráfagas asociados con cada canal lógico.

Tabla 2.14: Tipos de Ráfagas

Tipo de Ráfaga	Símbolo	Canal Lógico
<b><i>Ráfagas del Enlace de Bajada</i></b>		
Sincronización de Frecuencia	F	BCH
Sincronización de Tiempo	T	BCH
Difusión	B	BCH, CCH
Paginación	P	PCH
Estándar del Enlace de Bajada	D	RACH, TCH, CCH, FACCH
<b><i>Ráfagas del Enlace de Subida</i></b>		
Petición de Configuración	C	CCH
Estándar del Enlace de Subida	U	RACH, TCH, FACCH

#### Canal de Difusión (BCH)

El canal de difusión es un canal lógico exclusivo del enlace de bajada y que se convierte en el primer canal que el terminal de usuario utiliza para el establecimiento de una conexión con la estación base y consecuentemente con la red de *backhaul*. El propósito principal del canal BCH es permitir que el UT pueda adquirir una sincronización en tiempo y en frecuencia, aunque esa sincronización no es demasiado fina, y para determinar la mejor BS con la cual puede comunicarse tanto en una adquisición inicial como en un proceso de *handoff*.

Como puede observarse en la Tabla 2.14 el canal BCH utiliza ráfagas de tipo F, T, y B. La ráfaga F sirve para adquirir una sincronización en frecuencia con la red, la ráfaga T es utilizada para calcular tiempos de recepción estimados, retardos de propagación relativos, y pérdidas de trayecto relativas a cada BS en la red. Finalmente la ráfaga B tiene como

objetivo proporcionar una información más precisa en la estimación derivada de la ráfaga T y adicionalmente contienen algunos bits de información que ayudan en la selección de una BS cuando sea necesario.

Es importante mencionar que el canal BCH consume una mínima cantidad de *overhead* por lo que tiene un impacto mínimo en el *throughput* total de una BS. Esta consideración permite obtener ráfagas B con un número reducido de bits de información y con campos pequeños de bits que sirven para indicar la potencia de una ráfaga transmitida y la carga total de la BS en el momento de la información[10].

### Canal de Configuración (CCH)

El canal de configuración sirve para dos propósitos principalmente. En primer lugar el canal CCH es utilizado como un mecanismo de ajuste fino para la sincronización en tiempo durante la adquisición inicial de una red o durante un *handoff*; y en segundo lugar, es utilizado para informar al terminal de usuario de los parámetros principales de la estación base y de la red con el propósito de permitir que el UT pueda continuar con el proceso de conexión a la BS.

Para llevar a cabo sus funciones este canal maneja tres tipos de mensajes que son los de Petición de Configuración (CR), los de Configuración (CM) y los mensajes Cortos de Difusión (SBM).

El mensaje CR es enviado por el enlace de subida y contiene un campo que indica la potencia de ráfaga transmitida. Por su parte el mensaje CM enviado a través del enlace de bajada tiene como objetivo informar al UT de algunos parámetros importantes entre los que se destacan los siguientes:

- Un ID de red que permite distinguir entre operadores colocados en un área geográfica
- Una versión del protocolo para identificar la compatibilidad del sistema
- Información relacionada al canal de configuración de la BS, como por ejemplo información que sirva para identificar los canales convencionales que serán utilizados para el registro

Por último el mensaje SBM es utilizado para transmitir datos de difusión[10].

## Canal de Paginación (PCH)

El canal de paginación al igual que el BCH es un canal exclusivo del enlace de bajada que se utiliza primordialmente para comunicarle a un terminal de usuario que puede acceder a una estación base cuando se desea establecer una comunicación. Este canal puede ser enviado simultáneamente con los canales RACH y TCH en un determinado par ranura de tiempo/frecuencia, esto debido a que el canal PCH transmite un número pequeño de bits de información entre los cuales se encuentra un identificador de página que está contenido en cada ráfaga de paginación y que es utilizado para establecer la comunicación con un UT específico[10].

## Canal de Acceso Randómico (RACH)

El canal de acceso randómico es utilizado por el terminal de usuario para acceder a una estación base. Este canal puede ser enviado de manera simultánea con los canales PCH y TCH en un determinado para ranura de tiempo/frecuencia y tiene la capacidad de transportar múltiples tipos de mensajes.

El primer tipo de mensaje es la Petición de Acceso (RA) que es enviada por el UT en el enlace de subida y que contiene un identificador de registro, el mismo que se utiliza para identificar una sesión de red y para indicar la potencia con que fue transmitida la ráfaga que contiene este mensaje.

El segundo tipo de mensaje es el de Asignación de Acceso (AA), mensaje que es enviado por la BS como respuesta a un mensaje RA que ha recibido previamente. Este mensaje es utilizado en el enlace de bajada para permitir que se lleve a cabo la transmisión de un flujo perteneciente al canal de tráfico.

De manera general un mensaje AA contiene varios parámetros de información entre los que se encuentran:

- Información de modulación y codificación para la ráfaga inicial perteneciente al canal de tráfico
- Asignación a un canal convencional del flujo de tráfico
- Asignación de una secuencia de entrenamiento espacial del flujo de tráfico
- Parámetros de corrección de temporización y potencia[10].

## Canal de Tráfico (TCH)

El canal de tráfico es utilizado para transportar tanto datos de control de tráfico como datos finales de usuario. Los datos son transportados en este canal en forma de flujos TCH que siempre se inician con una transmisión del canal RACH, es decir que toda transmisión inicial del canal de tráfico está precedida por una transmisión RACH.

Un flujo TCH es una serie de tramas TCH utilizadas por un solo terminal de usuario y es el mecanismo usado para transmitir datos de todo tipo. Cualquier flujo TCH es iniciado o cerrado en respuesta a las necesidades de ancho de banda de cada UT[10].

## Canal de Control Asociado Rápido (FACCH)

El canal de control asociado rápido es un canal lógico asociado con los canales de acceso randómico y de tráfico. Tiene como objetivo transportar información de importancia crítica para el funcionamiento del sistema, información relacionada con la adaptación del enlace y con el control de potencia. Este canal utiliza su propia modulación y codificación de *Walsh-Hadamard* y debido a la importancia de la información que transmite tiene la capacidad de ser recuperado en regiones que presenten una baja relación señal a ruido.

El canal FACCH hace posible que se realicen adaptaciones rápidas del enlace debido a que contiene actualizaciones en tiempo real de las clases de modulación de las ráfagas TCH que están siendo enviadas en ese momento[10].

A continuación la Figura 2.82 y la Figura 2.83 muestran la estructura de una ráfaga estándar del enlace de bajada y del enlace de subida respectivamente.

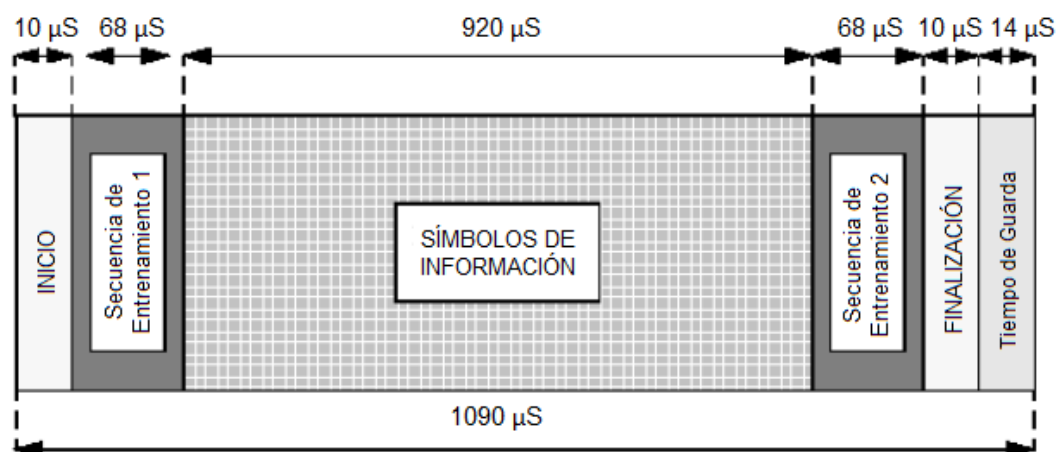


Figura 2.82: Estructura de una Ráfaga Estándar del Enlace de Bajada

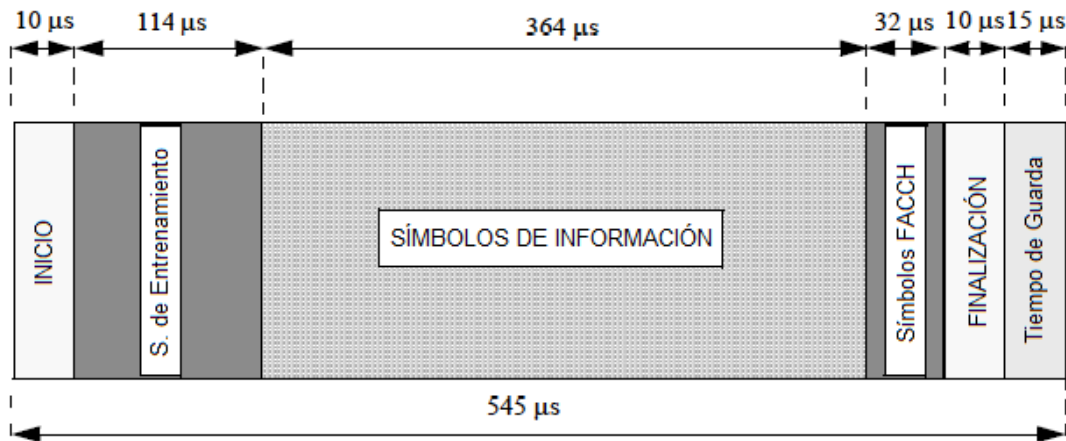


Figura 2.83: Estructura de una Ráfaga Estándar del Enlace de Subida

#### 2.2.4. Especificaciones de la Capa de Control de Enlace de Datos y de Enlace Lógico

La Capa de Control de Enlace de Datos y de Enlace Lógico, conocida como Capa 3 en los sistemas *Best-Wire*, es la encargada de gestionar y manejar los recursos pertenecientes a la interfaz de aire. Una vez que un terminal de usuario ha sido registrado con una estación base, a dicho UT no se le asigna ningún recurso de la interfaz de aire a menos que un flujo de tráfico ya sea del enlace de bajada o de subida necesite ser intercambiado con una BS. Todas las decisiones de asignación de recursos se realizan de manera centralizada en las BS y son gobernadas en gran medida por las consideraciones de QoS incluyendo los límites en la tasa de datos y la priorización impuestas para cada usuario.

La agregación de portadoras y ranuras de tiempo es empleada para incrementar los *throughputs* por usuario en los canales de tráfico, capacidad que se incrementa en relación a la utilización de un solo par portadora/ranura de tiempo.

Con respecto al procesamiento espacial, en esta capa se realiza sobre los enlaces de subida y bajada y en las estaciones base resulta en un mecanismo de acceso de alta eficiencia que explota SDMA en lugar de las técnicas convencionales tales como las de detección y eliminación de colisiones.

La Capa 3 también maneja la relación existente entre el UT y la BS y mantiene las bases de la asociación entre estas dos entidades de la red, de tal manera que se permita el intercambio de datos IP pertenecientes a los usuarios finales. De manera adicional, esta capa utiliza mediciones físicas realizadas a nivel de la Capa 1 para gestionar la movilidad

y coordinar el control de potencia y la adaptación del enlace entre estos dos componentes.

De manera nominal esta capa recibe datos finales de usuario PPP o IP desde protocolos pertenecientes a entidades de niveles superiores, y cuando estos datos son recibidos en una BS les proporciona un servicio de autenticación de forma que el UT pueda confirmar la identidad de los datos y de la BS de la cual los recibe. Este procedimiento de autenticación se produce de la misma manera cuando el tráfico se transmite en el sentido opuesto, es decir desde el UT a la BS.

Los datos de usuario y ciertos datos de control son transportados utilizando flujos TCH, los cuales pueden ser transmitidos utilizando dos mecanismos de entrega tal como se especificó en la sección anterior. Estos mecanismos son el modo UM en el cual el tráfico no es enviado a través de ARQ, y el modo AM en el cual sí se utiliza ARQ para el envío.

Los tráficos UM y AM son multiplexados en una sola ráfaga dentro de un flujo TCH, y con el objetivo de posibilitar una multiplexación eficiente y flexible, los mensajes UM un código de prefijo que en la ráfaga es ubicado por encima del tráfico AM. El tráfico AM está formado mayoritariamente por datos finales de usuario, pero también puede contener mensajes de control que requieran tener un envío confiable, el mismo que es proporcionado utilizando un esquema ARQ.

Este esquema de retransmisión ARQ utilizado en los sistemas 625k-MC posee tres características principales:

- Los *endpoints* se encuentran en la Capa 2 del terminal de usuario y de la estación con el objetivo de minimizar la latencia de transmisión.
- Está orientado a *bytes* con el objetivo de permitir el manejo de tamaños flexibles en la carga útil de datos que pueden resultar de los procesos de modulación adaptativa y del esquema de multiplexación AM/UM.
- El esquema de acuses de recibo es acumulativo ya que los ACK reportan el siguiente *byte* esperado para una recepción contigua[10].

#### 2.2.4.1. Control de Potencia y Adaptación del Enlace

Los algoritmos de control de potencia y de control para la adaptación del enlace se utilizan tanto en el enlace de subida como en el de bajada. En lo que se refiere al algoritmo

para el control de potencia, este puede ser manejado por medio de lazos de control abiertos y cerrados, siendo ambos tipos de lazos controlados por la estación base. Al centralizarse el control sobre las BS es fácil suponer que cada BS envía los comandos de control de potencia y de adaptación del enlace para el enlace de subida valiéndose del enlace de bajada.

Para el soporte del control centralizado en las BS, el UT necesita reportarles dos parámetros; por un lado la calidad de señal del enlace de bajada, la misma que es medida por medio del valor de la relación SINR, y por otro lado la potencia de transmisión disponible, que no es otra cosa que la diferencia entre la máxima potencia disponible para la transmisión y la potencia de transmisión real que se está utilizando en ese momento. El reporte de estos parámetros por parte del UT es vital para el establecimiento de una adaptación efectiva del enlace de subida.

Los mensajes de control de potencia y de adaptación del enlace y los mensajes de reporte del UT son enviados en cada ranura de cada trama y en consecuencia el sistema es capaz de adaptarse a cambios rápidos en los canales de propagación y en las condiciones de interferencia. Los comandos de control de potencia se adaptan tanto a comandos con escalones fijos para compensar cambios pequeños en la relación SINR, equivalentes por ejemplo a  $\pm 1dB$ , como a comandos con escalones variables para compensar grandes cambios en el orden de los 10 dB o más; y los reportes son capaces de especificar tanto cambios pequeños, en el orden de 1 dB, como cambios grandes, en el orden de 10 dB, en la relación SINR. Los mensajes utilizados para el envío de los comandos de control de potencia y para los reportes de calidad del enlace ocupan siempre una cantidad muy pequeña del ancho de banda disponible, por lo que no representan una gran carga para el sistema.

Otra información importante para la adaptación del enlace es la relacionada con la modulación y codificación utilizadas, la misma que se transmite por medio del canal FACCH. Este canal transporta información de la clase de modulación y codificación recomendadas así como de la codificación y modulación que están siendo utilizadas para construir la carga útil de datos. Todos estos datos son compartidos entre la BS y el UT en una base ranura por ranura[10].



## 2.2.5. Características Adicionales de MBWA 625k-MC

### 2.2.5.1. Calidad de Servicio

La propuesta para el manejo de calidades de servicio para el sistema se hace utilizando modelos y definiciones utilizadas comúnmente en la ingeniería de tráfico, y específicamente proporcionando el soporte para una solución de servicios diferenciados *Diffserv*.

La planificación para el proporcionamiento de QoS se realiza en las estaciones base, y el planificador en cada estación base es el encargado de hacer cumplir los requerimientos para QoS que se encuentren definidos para todo el conjunto de sesiones de red que se encuentren operando en ese momento. En este sentido la interfaz de aire es muy versátil y proporciona de manera eficiente todos los mecanismos básicos utilizados por el planificador de la BS.

El planificador incorpora las capacidades individuales de RF y de banda base para cada terminal de usuario, capacidades que incluyen el manejo de portadoras RF que puede realizar el equipo y su habilidad para agregar ranuras de tiempo. Utilizando esta información y los mecanismos básicos de flujo del sistema, el planificador puede hacer cumplir los comportamientos básicos de QoS, como por ejemplo los límites en las tasas de datos individuales, la prioridad para los diversos tipos de tráfico y la partición de recursos entre las diferentes clases agregadas.

Las BS pueden programar a todos los usuarios juntos sobre el conjunto completo de recursos físicos, y de manera alternativa, puede separar usuarios de manera individual en dominios específicos de registro por medio de la partición del conjunto total de recursos físicos disponibles en el sistema. De esta manera se hace la asignación individual a dominios de registro individuales[10].

### Clases de Servicios

El sistema 625k-MC está optimizado para la aplicación de calidades de servicio en sus conexiones. Los mensajes AM de control para QoS utilizados a nivel de la Capa 3 son enviados entre la estación base y el terminal de usuario con el fin de manejar los cambios en los requerimientos de QoS para cada sesión que se establece. Diferentes sesiones o conexiones dentro de un UT pueden tener diferentes políticas de calidad de servicio dependiendo del código de servicio *Diffserv* que haya recibido por medio del mensaje.

Para soportar los Modelos Estándar *Diffserv* de QoS tanto el UT como la BS deben incorporar las tres clases de servicios que se definen a continuación en la Tabla 2.15, cada una con sus propios comportamientos de reenvío en un orden descendiente de prioridad[8].

**Tabla 2.15: Clases de Servicio QoS**

	Clase de Sesión/Usuario	Clase de QoS	Ejemplo de Servicio
1	<i>Prioridad 1</i>	Reenvío Acelerado	VoIP
2	<i>Prioridad 2</i>	Reenvío Asegurado	Transmisión de video, Priorización de Ancho de Banda
3	<i>Prioridad 3</i>	Mejor Esfuerzo	Datos

### 2.2.5.2. *Handoff*

El procedimiento de *handoff* que se utiliza en este modo de operación funciona exactamente de la misma manera que el que se utiliza en el modo *Wideband*, y que fue descrito en la sección correspondiente; sin embargo, a continuación se presenta un resumen bastante rápido del mecanismo utilizado.

El esquema de *handoff* que se utiliza en la interfaz de aire es un esquema *make before break* manejado por las terminales de usuario, es decir que en este sistema el procedimiento de *handoff* empieza a llevarse a cabo antes de que el terminal deje de recibir servicio por parte del punto de acceso que está a punto de abandonar, de tal manera que se minimice al máximo o se suprima el tiempo en el cual el usuario no recibe el servicio con sus máximas prestaciones.

Cada UT se encarga de monitorizar los canales de difusión provenientes desde las BS circundantes y las organiza desde la más apta a la menos apta dependiendo de la potencia de la señal que transmiten y que reciben, del retardo en las transmisiones, y de la carga de la BS. El UT puede llevar a cabo estas mediciones y registrarse en un nuevo punto de acceso candidato al mismo tiempo que continúa realizando el intercambio de datos con su punto de acceso de servicio actual por medio del canal correspondiente, tal como se mencionó anteriormente.

Finalmente el procedimiento se completa cuando el UT ha realizado un procedimiento de registro exitoso con el nuevo punto de acceso de servicio al cual quiere vincularse, y finaliza su sesión con el punto de servicio de la estación base a la cual se encuentra conectado[10].

### 2.2.5.3. Seguridad

La interfaz de aire del modo *Best-Wire* proporciona una infraestructura de seguridad muy robusta que se ve fortalecida con la implementación de mecanismos de encriptación y autenticación para garantizar la confidencialidad de los datos transmitidos. De manera general la arquitectura de seguridad de la interfaz de aire está diseñada para sobrellevar todos los problemas de seguridad a los que se enfrentan los sistemas de comunicaciones inalámbricos en la actualidad.

Como característica principal de la autenticación debe decirse que se encuentra basada en la utilización de certificados digitales firmados de acuerdo al Estándar ISO/IEC 9796 y contando con el algoritmo RSA como firma básica. Los certificados digitales presentan información acerca del propietario del certificado así como de su clave pública de clave elíptica.

En cuanto a RSA puede decirse que es un algoritmo muy utilizado en criptografía tanto para cifrar como para firmar digitalmente. La seguridad de este algoritmo radica en el problema de la factorización de números enteros. Los mensajes enviados se representan mediante números, y el funcionamiento se basa en el producto, conocido, de dos números primos grandes elegidos al azar y mantenidos en secreto. Actualmente estos primos son del orden de  $10^{200}$ , utilizando en estos sistemas un módulo de 1024 a 2048 bits para el cifrado.

Como en todo sistema de clave pública, cada usuario posee dos claves de cifrado: una pública y otra privada. Cuando se quiere enviar un mensaje, el emisor busca la clave pública del receptor, cifra su mensaje con esa clave, y una vez que el mensaje cifrado llega al receptor, este se ocupa de descifrarlo usando su clave privada.

La clave pública tanto del UT como de la BS está basada en una estructura criptográfica de curva elíptica, cuya longitud aumenta con respecto a las necesidades de la utilización de un algoritmo de encriptación más seguro. A *grosso* modo, la Criptografía de Curva Elíptica es una variante de la criptografía asimétrica o de clave pública basada en las matemáticas de las curvas elípticas.

La descripción del funcionamiento propio de los algoritmos de encriptación RSA y de las claves de curva elíptica no forma parte del presente estudio, por lo que no se ahondará más en el tema.

Es muy importante mencionar que este esquema de seguridad se plantea específicamente para los sistemas 625k-MC, pero también es posible implementar sistemas en este modo de operación con los procedimientos de autenticación y encriptación descritos en los sistemas *Wideband*[10].

## Capítulo 3

# SISTEMA UNIVERSAL DE TELECOMUNICACIONES MÓVILES

### 3.1. Introducción General

UMTS (*Universal Mobile Telecommunication System*) es un estándar europeo desarrollado para redes móviles de tercera generación previsto como el sistema de telecomunicaciones móviles de 3G a seguir en Europa como una evolución de sistemas de segunda generación, tal como lo es el sistema GSM. Debido a sus características UMTS ofrece capacidades de servicio flexibles que incluyen transmisión de voz móvil digital, video, servicios multimedia, datos, y otra amplia variedad de servicios de banda ancha vía acceso inalámbrico mediante el uso de una solo terminal de usuario móvil[14].

Algunos de los objetivos que se tratan de cumplir con la implementación de sistemas UMTS son:

- Utilización de equipos de usuario pequeños y económicos
- Aprovisionamiento de servicio todo el tiempo
- Ubicuidad para proporcionar servicio en cualquier lugar incluyendo ambientes de espacios cerrados
- Interoperabilidad con otras tecnologías y sistemas
- Capacidad de prestar servicio en ambientes con alta demanda
- Soporte de *Roaming* Global

- Soporte de calidad de voz como si existiera una conexión cableada
- Capacidad para soportar altas velocidades en transmisión de datos
- Soporte de múltiples servicios multimedia

UMTS representa una importante evolución en términos de capacidad, velocidad de datos, y soporte de nuevos servicios en comparación con las redes móviles de segunda generación que lo precedieron. Esta tecnología ha sido especificada como una solución integral para la transmisión de voz y datos de banda ancha con área de cobertura amplia.

UMTS es miembro de la familia global IMT-2000 del sistema de comunicaciones móviles de tercera generación de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU). La ITU y la Comisión Europea han impulsado desde 1998 un proyecto llamado IMT-2000 que tiene como objetivo la implementación de un único sistema de telefonía móvil mundial, el UMTS. A pesar de que UMTS es un estándar europeo, debido al carácter global con que fue ideado, ha sido implementado con gran éxito como una tecnología de acceso móvil para usuarios celulares en todo el mundo.

Con la utilización de UMTS pueden ser ofrecidas nuevas capacidades de servicios específicos, de acuerdo a las necesidades del mercado y sus limitaciones inherentes. Uno de los más importantes aspectos para el éxito de UMTS es que sus servicios no tienen por qué ser más caros que los de las redes que lo antecedieron.

Esta tecnología ha permitido extender las actuales tecnologías móviles, inalámbricas y satelitales, proporcionando mayor capacidad, posibilidades de transmisión de datos a altas velocidades y una gama de servicios mucho más extensa que incluyen telefonía con alta calidad en la transmisión del sonido, internet móvil de banda ancha, servicios interactivos, video telefonía y video conferencia, usando un innovador programa de acceso radioeléctrico y una red principal mejorada. La cobertura en este tipo de redes será hecha por una combinación de varios tamaños de celdas en un rango que va de pico celdas a celdas globales utilizadas para servicios satelitales, las cuales inclusive podrían dar servicio a regiones remotas del mundo.

Como se ha mencionado anteriormente, UMTS se puede catalogar como una evolución del estándar GSM, ya que conserva algunas relaciones, por ejemplo se ha hecho el diseño para que las radio bases de UMTS puedan ser colocadas con las existentes radio bases de GSM, lo cual quiere decir también que se podrá hacer uso de la misma radio base para

ambos sistemas, garantizando así una coexistencia muy bien definida que se complementa con la capacidad de los terminales móviles UMTS de funcionar con sistemas de segunda generación[15][16].

### **3.2. Principales Características y Especificaciones de UMTS**

La tecnología UMTS es apropiada para una gran variedad de usuarios y tipos de servicios debido a sus características, las mismas que a continuación se presentan de manera compendiosa.

#### ***Facilidad de uso y costos bajos***

Los clientes quieren ante todo servicios útiles, terminales simples y una buena relación calidad-precio. En este sentido UMTS proporciona:

- Servicios de uso fácil y adaptables para abordar las necesidades y preferencias de los usuarios
- Terminales y otros equipos que facilitan el acceso a los servicios
- Bajos costos de los servicios para asegurar un mercado masivo por medio de tarifas competitivas
- Una amplia gama de terminales con precios accesibles para el mercado masivo, soportando simultáneamente las avanzadas capacidades de UMTS[16].

#### ***Nuevos y mejores servicios***

A pesar del gran incremento en la demanda de servicios de transmisión de datos por medio de redes móviles, los servicios de voz continúan siendo los más utilizados por los usuarios celulares en nuestro medio, es por esta razón que UMTS está en la obligación de prestar servicios de voz de alta calidad, junto con servicios de datos e información de avanzada. Las estadísticas muestran una base de abonados de servicios multimedia en fuerte crecimiento en el año 2010, lo que posibilita también servicios multimedia de alta calidad en áreas carentes de estas posibilidades en la red fija[16].

#### ***Acceso rápido***

UMTS aventaja a los sistemas móviles de segunda generación por su potencial para soportar velocidades de transmisión de datos de hasta 2 Mbps. Esta capacidad sumada al soporte inherente del Protocolo de Internet (IP), se combinan poderosamente para prestar servicios multimedia interactivos y nuevas aplicaciones de banda ancha, tales como servicios de video telefonía y video conferencia[16].

### ***Transmisión de paquetes de datos y velocidad de transferencia de datos bajo pedido***

La mayoría de los sistemas celulares utilizan tecnología de conmutación de circuitos para la transferencia de datos. GPRS, una extensión de GSM, ofrece una capacidad de conmutación de paquetes de datos a velocidades bajas y medias.

UMTS integra la transmisión de datos por conmutación de paquetes y de circuitos a altas velocidades junto con las siguientes características:

- Conectividad virtual a la red en todo momento
- Formas de facturación alternativas entre las que se incluyen pago por *byte*, por sesión, tarifa plana, ancho de banda asimétrico de enlace ascendente/descendente según lo requieran los variados servicios de transmisión de datos y los usuarios

Además UMTS también ha sido diseñado para ofrecer velocidad de transmisión de datos bajo pedido, lo que combinado con la transmisión de paquetes de datos, hará que el funcionamiento del sistema resulte mucho más económico[16].

En su funcionamiento UMTS soporta dos modos de operación, FDD y TDD, con el objetivo de proporcionar una alta eficiencia espectral, siendo utilizados ambos modos en diferentes bandas de frecuencia.

El sistema además proporciona flexibilidad para soportar una amplia capacidad de cobertura y facilitar la ampliación de ésta; cosa que se logra por medio del uso y la interacción de varios tipos de celdas en un área geográfica. Dentro de la planeación de UMTS también se encuentra considerado un modo dual GSM/UMTS, en el cual, la selección de celda y el procedimiento de voceo será diseñado para posibilitar que la red pueda estar conformada por celdas GSM, celdas UTRAN pertenecientes a UMTS o una combinación de ambas[17].



En sus inicios UMTS fue pensada como una nueva red de radio acceso basado en los 5 MHz y optimizada para un soporte eficiente de servicios de 3G. Añadir capacidad a la tercera generación implica agregar un soporte para conmutación de paquetes, acceso a Internet y capacidad de conectividad mediante IP, capacidad que será utilizada en función de cada servicio en particular; por ejemplo en el caso del acceso a contenidos alojados en servidores web, el soporte del protocolo IP resulta fundamental.

UMTS ofrece una nueva interfaz de radio denominada UTRA (*UMTS Terrestrial Radio Access*). Dicha interfaz está basada en la tecnología CDMA permitiendo aumentar considerablemente la velocidad de transferencia de datos, y soportando dos modos de operación, el FDD (*Frequency Division Duplex*) y el TDD (*Time Division Duplex*) como ya se había mencionado anteriormente.

El primero en introducirse fue FDD que está basado en un esquema de Secuencia Directa CDMA y soporta una velocidad de hasta 384 Kbps. El TDD está basado en una multiplexación en tiempo y en código, y se ha diseñado y optimizado para ser utilizado en zonas con alta densidad de tráfico, y soporta una velocidad máxima de hasta 2 Mbps.

Otro aspecto especialmente novedoso de UMTS, es la definición de una nueva y flexible arquitectura de servicios abierta OSA (*Open Service Architecture*) que permita la creación de una gran variedad de servicios y aplicaciones para el usuario utilizando un conjunto de capacidades de servicio que son las entidades a estandarizar y un proceso de gestión denominado Entorno Local Virtual o *Virtual Home Environment* (VHE). El VHE proporciona al usuario la posibilidad de disponer de un entorno de servicios personalizado cualquiera sea la red o terminal que esté usando, y cualquiera sea su posición.

La estandarización de un interfaz OSA entre las aplicaciones y los servidores de capacidades de servicio facilita la incorporación al sector de las telecomunicaciones móviles 3G de nuevos proveedores que pueden desarrollar y ofrecer nuevos servicios haciendo uso de dicha interfaz[18].

### 3.3. Arquitectura de Red y Protocolos

En lo concerniente a la arquitectura de los sistemas UMTS se analizará en primer término el Modelo Referencial de la Arquitectura de Red, el mismo que define de manera general la estructura de una red UMTS y los bloques funcionales que la componen. En segundo lugar se realizará un análisis de la Arquitectura de Servicios Abierta de

UMTS que fue mencionada en la parte final de la sección anterior, y finalmente, se mostrará una descripción de la Arquitectura detallada de una Red UMTS con cada uno de los componentes e interfaces necesarios para su funcionamiento.

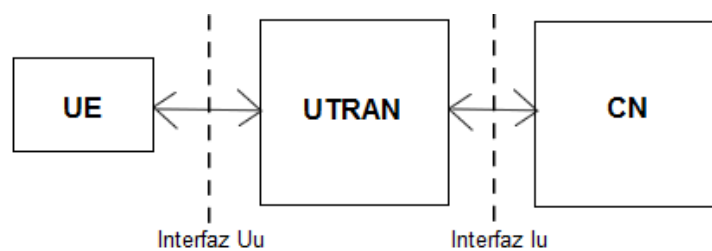
### 3.3.1. Modelo de Referencia de la Arquitectura de Red

UMTS también plantea importantes innovaciones con respecto a la arquitectura de red. UMTS ha definido una arquitectura que da cabida a redes de acceso GSM y a la red de acceso UMTS conocida como UTRAN, y propone una Red Central o *Core Network* (CN) diseñada como una evolución de la red GSM/GPRS que permita facilitar la migración desde este tipo de redes a UMTS. La CN incluirá un dominio con conmutación de circuitos y un dominio con conmutación de paquetes.

El sistema UMTS presenta una arquitectura referencial conformada por tres bloques principales que son:

- El Equipo de Usuario o *User Equipment* (UE)
- La Red de Acceso de Radio UTRAN (*UMTS Terrestrial Radio Access Network*)
- La Red Central, Red de Núcleo o *Core Network* (CN)

La Figura 3.1 muestra el Modelo de Referencia de la Arquitectura de Red de UMTS con cada uno de los bloques que conforman su estructura general.



**Figura 3.1: Modelo de Referencia de la Arquitectura de Red de UMTS**

Como puede observarse, la interfaz Uu se localiza entre la el UE y la red UTRAN, y entre ésta y la CN se encuentra la interfaz Iu. Es importante mencionar que la interfaz de aire entre el terminal de usuario y la red de acceso de radio es la tecnología WCDMA. En las secciones subsiguientes se describirá cada una de estas interfaces con mayor detenimiento[19].

## Equipo de Usuario (UE)

El equipo de usuario no es nada más que el terminal móvil, que por ejemplo puede ser un teléfono celular, y que en términos generales es el equipo utilizado por los suscriptores o usuarios para acceder a la red y a cualquiera de sus servicios de comunicación. Es importante tomar en cuenta que los servicios a los cuales puede acceder un usuario en particular están determinados en gran medida por las capacidades que maneje el equipo o terminal que se encuentre utilizando; quedando claro que para poder hacer uso de todas las capacidades de servicio que presenta UMTS deberá utilizar un dispositivo con capacidades avanzadas, y de lo contrario solamente podrá tener acceso a las capacidades básicas de la red.

Resumiendo, el UE es el equipo que el usuario trae consigo para lograr la comunicación con una estación base en el momento que lo desee y en el lugar en donde exista cobertura. Aunque puede variar en su tamaño y forma, sin embargo debe estar preparado para soportar el estándar y los protocolos para los que fue diseñado. Por ejemplo, si un terminal trabaja bajo el sistema UMTS, debe ser capaz de acceder a la red UTRAN mediante la tecnología WCDMA para lograr la comunicación con otro móvil, con la PSTN, con ISDN o un sistema diferente como GSM de 2.5G, tanto para voz como para datos.

Con el objetivo de no perder la inversión en la infraestructura de GSM y de propender a la coexistencia de ambas tecnologías, actualmente se utilizan equipos con sistemas duales, es decir, que pueden acceder a ambas redes, esto mientras que consolida el cambio a 3G, luego de lo cual seguramente los sistemas GSM empezarán a caer en desuso[20].

## Red de Acceso de Radio (UTRAN)

UTRAN es el nombre de la nueva red de acceso de radio diseñada para los sistemas UMTS, y en definitiva es la que hace posible que se lleve a cabo la comunicación entre el equipo de usuario y la red central, para lo cual utiliza dos interfaces, la interfaz Iu para conectarse con la red central y la interfaz Uu para comunicarse con el equipo de usuario.

La red UTRAN está formada por varios elementos, entre los que se encuentran el Controlador de la Red de Radio o *Radio Network Controller* (RNC), equivalente al BSC en la red GSM, y los Nodo B que no son otra cosa que el equivalente a las estaciones base de GSM. Ambos elementos en conjunto forman el Subsistema de la Red de Radio o *Radio Network Subsystem* (RNS). Las interfaces internas de UTRAN incluyen la interfaz Iub la

cual se encuentra entre el Nodo B y el RNC y la interfaz Iur que conecta a los RNC entre sí[20].

### **Red Central o *Core Network***

La Red Central también conocida como *Core Network* es la encargada de realizar funciones de transporte de información tanto de tráfico como de señalización y en términos generales es la parte de la red que contiene toda la inteligencia del sistema, ya que a través de la CN los sistemas UMTS pueden conectarse a otras redes y sistemas de comunicación.

La red central se encuentra formada por varios elementos que se describirán más adelante, pero los más importantes para el funcionamiento del sistema son el MSC o Centro de Conmutación Móvil que es una parte fundamental en una red basada en conmutación de circuitos, y el SGSN o Nodo de Soporte de Servicio GPRS que es indispensable para el soporte de una red basada en conmutación de paquetes.

Para garantizar el correcto funcionamiento de un sistema UMTS, la red central debe cumplir con algunos requerimientos básicos entre los que se encuentran:

- Debe soportar servicios de datos por conmutación de paquetes con una capacidad de al menos 2 Mbps
- Debe proporcionar una solución efectiva para el tráfico entre redes
- Es necesario que preste todas las facilidades de soporte para monitorizar y medir el flujo de tráfico y algunas otras características de la red como por ejemplo el control de congestión

Para el soporte de los diversos servicios, la CN está dividida en un dominio de servicios de conmutación de paquetes y en un dominio de servicios de conmutación de circuitos, y tanto las redes como los terminales pueden manejar solamente uno de los dominios o pueden incorporar los dos dominios a la vez[17].

### **3.3.2. Arquitectura de Servicios Abierta en UMTS**

UMTS permite proporcionar una gran variedad de servicios y aplicaciones de telecomunicaciones móviles incluyendo características multimedia, personalización, y altas

velocidades de transmisión. Los servicios de Internet también pueden ser ofrecidos, utilizando el protocolo WAP, y se dispone de un acceso optimizado a redes externas IP, siendo posible garantizar en todos los casos diferentes calidades de servicio (QoS).

Esta tecnología proporciona mecanismos que garantizan la continuidad de los servicios en el caso de producirse un *handoff* entre las redes de acceso GSM y UMTS. UMTS ofrece servicios portadores de datos por conmutación de circuitos, que permiten el interfuncionamiento con redes PSTN e ISDN, y servicios de datos por conmutación de paquetes, que permiten el interfuncionamiento con redes IP.

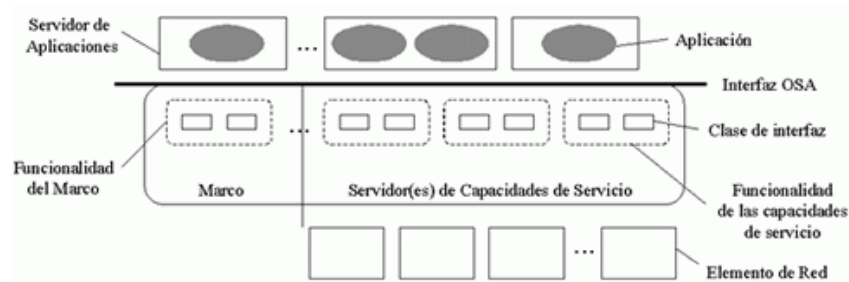
El objetivo de la estandarización de UMTS con respecto a los servicios es el de definir un marco en el que los servicios puedan ser creados en base a las funcionalidades de las capacidades de servicio estandarizadas. Por tanto, lo que se va a estandarizar son las capacidades de servicio y no los servicios concretos. Dichas capacidades de servicio están formadas por portadoras definidas con parámetros de QoS y por los mecanismos necesarios para llevarlos a cabo, mecanismos que incluyen la funcionalidad proporcionada por varios elementos de red, la comunicación entre ellos, y el almacenamiento de los datos asociados.

El hecho de manejar las capacidades estandarizadas proporciona una plataforma que permite el desarrollo de una gran variedad de servicios. Las funcionalidades de las capacidades de servicio disponibles, entre las que se encuentran autenticación, autorización, control de sesiones y traducción de direcciones, son visibles a las aplicaciones a través de interfaces de aplicación también estandarizadas.

UMTS define una Arquitectura de Servicios Abierta (OSA) que es muy flexible y que está diseñada para permitir a las aplicaciones hacer uso de las capacidades de la red. La funcionalidad de red ofrecida a las aplicaciones está definida como un conjunto de las ya mencionadas funcionalidades de las capacidades de servicio en la interfaz OSA, que son soportadas por diferentes servidores de capacidades de servicio. Dichas funcionalidades proporcionan acceso a las capacidades de la red necesarias para desarrollar nuevas aplicaciones.

De este modo, las aplicaciones son independientes de la tecnología de red subyacente que se utilice. Las aplicaciones constituyen el nivel superior de la arquitectura OSA, el mismo que se conecta con los servidores de capacidades de servicio a través de la interfaz OSA. Estos servidores establecen la relación entre la interfaz OSA y los protocolos específicos de telecomunicaciones subyacentes, logrando así ocultar la complejidad de la

red a las aplicaciones. El objetivo de OSA es el de proporcionar una arquitectura escalable y extensible que permita la inclusión de nuevas funcionalidades en futuras versiones o evoluciones de UMTS con un impacto mínimo en las aplicaciones que utilizan esta interfaz.



**Figura 3.2: Arquitectura de Servicios Abierta de UMTS**

La Arquitectura OSA, mostrada en la Figura 3.2, consta de tres partes que son las aplicaciones, un marco o *framework*, y los servidores de capacidades de servicio.

El marco les proporciona a las aplicaciones los mecanismos básicos que permiten que estas puedan hacer uso de las capacidades de servicio en la red. Algunos servicios del marco son la autenticación, registro, y descubrimiento de funcionalidades. El servidor de capacidades de servicio les proporciona a las aplicaciones servicios de red como control de llamadas, transferencia de mensajes, y posicionamiento, los mismos que son abstracciones de la funcionalidad de la red subyacente.

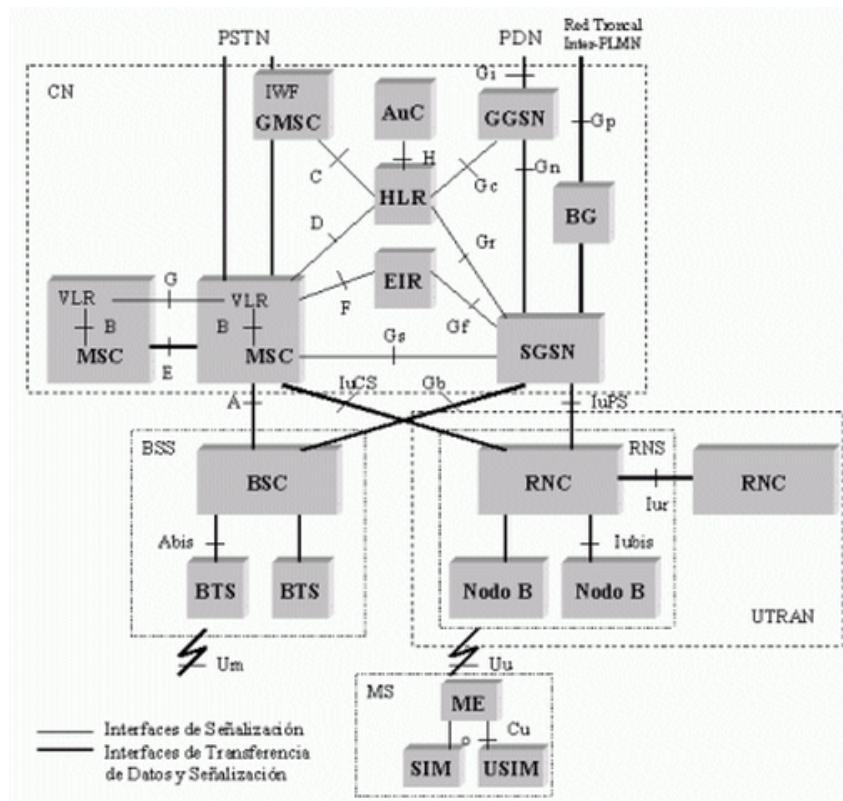
Como ya se ha descrito anteriormente, UMTS soporta el concepto denominado Entorno Propio Virtual (VHE) que permite disponer de un entorno de servicios personalizado y portable a través de fronteras de redes y entre terminales. De este modo, los usuarios disponen siempre de una interfaz de usuario personalizada de acuerdo con las capacidades del terminal y de servicios también personalizados independientemente de la red o terminal que estén utilizando. Un aspecto clave para soportar VHE es la posibilidad de construir servicios usando interfaces de aplicación estandarizadas, es decir que sin la existencia de una Arquitectura de Servicios Abierta como la que se ha descrito no sería posible el soporte de funcionalidades como VHE[18].

### 3.3.3. Arquitectura de Red de UMTS

Se ha hecho mucho hincapié en que la arquitectura de red de UMTS ha sido definida para facilitar el proceso de migración desde las redes GSM/GPRS hacia UMTS. Dicha arquitectura incorpora las redes de acceso de GSM y UTRAN, la red central que está diseñada

también como una evolución de GSM/GPRS, y el terminal o equipo de usuario.

La Figura 3.3 muestra el diagrama completo de la arquitectura de una red UMTS, incluyendo también la entidad de acceso a la red GSM con el objetivo de permitir una visualización de la forma en que pueden interconectarse estos dos sistemas.



**Figura 3.3:** Arquitectura de Red de UMTS

De manera un poco más general y con fines explicativos puede decirse que el sistema se divide en dos subredes, una red específicamente de telecomunicaciones y una red de gestión.

La red de telecomunicaciones tiene la función de transportar la información entre los extremos de una conexión, mientras que la red de gestión se encarga de funciones administrativas y de control como la facturación, el manejo de registros, la administración de seguridades para los datos de la red, el control para la operación de los diversos elementos de la red y el soporte de un correcto funcionamiento de los mismos, y la detección y resolución de fallas y anomalías.

El diagrama que se muestra a continuación en la Figura 3.4 corresponde a un enfoque más ilustrativo de la misma arquitectura mostrada en la Figura 3.3[18][21].

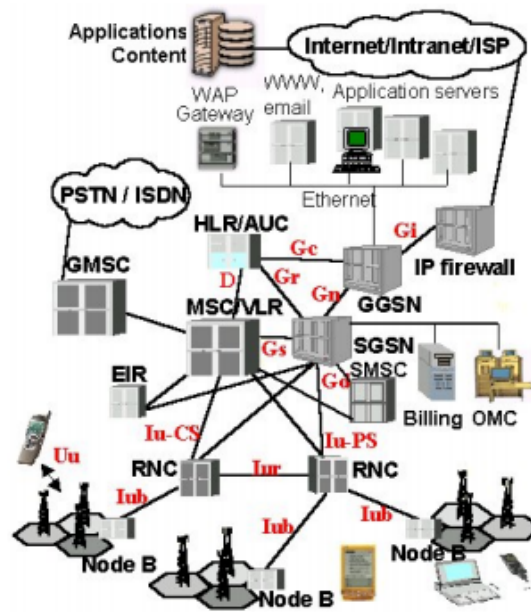


Figura 3.4: Diagrama de la Arquitectura de UMTS

A continuación se realizará una descripción de cada uno de los elementos de la arquitectura mostrada en los diagramas.

### 3.3.3.1. Red Central

La red central o *core network* se encuentra formada por los siguientes elementos: MSC, SGSN, VLR, EIR, HLR, AuC, GMSC y BG. Cada uno de ellos cumple con funciones específicas y precisas que permiten el funcionamiento de una de las partes más críticas e importantes del sistema.

#### MSC. Centro de Conmutación Móvil

El MSC es una central que realiza todas las funciones de señalización y conmutación requeridas para el manejo de servicios por conmutación de circuitos desde y hacia los equipos de usuario localizados en una determinada área geográfica. La principal diferencia con una central de una red fija es que incorpora funciones para la gestión de la movilidad como los procedimientos para el registro de posición y para el *handoff*.

El MSC se conecta a la red de acceso GSM formada por uno o varios BSS a través de la interfaz A, y a la red UTRAN formada por uno o varios RNS a través de la interfaz Iu-CS. Dependiendo de su tamaño, una CN puede estar constituida por uno o varios MSC[18].



Entre las principales funciones del MSC se encuentran las siguientes:

- Voceo o Paginación
- Coordinación en la organización de las llamadas de todos los terminales en su jurisdicción
- Asignación dinámica de recursos
- Registro de ubicación
- Funciones de interoperabilidad con otro tipo de redes
- Manejo de los procesos de *handoff* especialmente cuando se produce entre diferentes sistemas
- Colectar los datos para el centro de facturación
- Intercambio de señalización entre diferentes interfaces
- Manejo de la asignación de frecuencias en su área[19].

### **SGSN. Nodo de Soporte de Servicio GPRS**

El SGSN es el encargado de seguir y mantener la posición de los terminales móviles en su área, y adicionalmente realiza funciones de seguridad y control de acceso. El SGSN establece contextos de Protocolo de Paquetes de Datos activos que son usados para el encaminamiento con el GGSN que el abonado esté usando.

La función de registro de posición en un SGSN almacena información de suscripciones y datos de ubicación, que incluyen la celda o área de encaminamiento donde el terminal está registrada, o la dirección del GGSN donde exista un contexto activo, de los abonados registrados en el SGSN para servicios que manejen conmutación de paquetes. Dicha información es necesaria para llevar a cabo la transferencia entrante o saliente de datos en paquetes.

El SGSN está conectado al BSC a través de la interfaz Gb y al RNC a través de la interfaz Iu-PS, y opcionalmente puede enviar datos de ubicación al MSC/VLR a través de la interfaz Gs.

Queda claro que el SGSN es la pieza fundamental para el dominio de conmutación de paquetes del sistema UMTS ya que se encarga de la entrega de paquetes en las comunicaciones entrantes y salientes de los terminales móviles. Para llevar a cabo dicha entrega el SGSN debe conocer información adicional como el IMSI del equipo, algunas identificaciones temporales, y el número VLR[18][19].

### **VLR. Registro de Localización de Visitantes**

El VLR se encarga de controlar el *roaming* de los terminales móviles en el área de un MSC. Cuando un terminal móvil entra en una nueva área de ubicación se comienza un procedimiento de registro. El MSC encargado de dicha área notifica sobre este registro y transfiere al VLR la identidad del área de ubicación donde el terminal está situado. Si dicho terminal no está todavía registrado, el VLR y el HLR intercambian información para permitir el adecuado manejo de las llamadas de este equipo de usuario[18].

El VLR puede estar encargado de una o varias áreas MSC y contiene información de todos los suscriptores activos en dichas áreas, aún de los que dentro de las mismas se encuentran en su propia red local. Gran parte de la información contenida en el VLR se encuentra también en el HLR, la diferencia es que la información en el VLR está allí temporalmente, mientras que el HLR es una entidad que contiene información permanente.

Entre la información que maneja el VLR para gestionar todas las llamadas entrantes y salientes de los terminales registrados en su base de datos se encuentra:

- Identidad Internacional de Suscriptor (IMSI)
- Identidad ISDN de suscriptor móvil (MSISDN)
- Identidad temporal de la estación móvil (TMSI)
- Identidad local de la estación móvil (LMSI)
- Lugar donde la estación móvil ha sido registrada[17].

### **EIR. Registro de Identidad de Equipos**

El EIR es un registro que contiene una base de datos que almacena los identificadores

internacionales de equipos móviles (IMEI) para controlar el acceso a la red de dichos equipos.

Generalmente en este tipo de registros pueden manejarse tres clases de listas: la lista blanca que contiene los IMEI de los equipos que no presentan ninguna novedad y que pueden acceder a la red sin ningún problema, la lista negra que almacena los IMEI de los equipos que han sido reportados como perdidos o robados y que por ende tienen restringido el acceso al sistema, y finalmente la lista gris que contiene el IMEI de los equipos que tienen algún tipo de problema conocido y que podrían funcionar incorrectamente[17].

### **HLR. Registro de Localización Local**

El HLR contiene una base de datos encargada de gestionar los abonados móviles. El HLR almacena datos permanentes e información de suscripciones y datos de ubicación que permiten la tasación y encaminamiento de llamadas y/o mensajes hacia el MSC o SGSN donde se ha registrado el terminal móvil[18].

Dentro del HLR se diferencian dos tipos de información: los datos permanentes y los datos temporales.

Los datos permanentes incluyen:

- Identificador IMSI
- Información de *roaming* y de posibles restricciones de acceso a otras redes
- Claves de autenticación
- Parámetros de servicios suplementarios

Mientras tanto que los datos temporales generalmente son:

- Identificador LMSI
- Número de MSC
- Número de VLR[17].

### **AuC. Centro de Autenticación**

El AuC contiene una base de datos que mantiene información de cada abonado móvil, información que incluye el identificador IMSI y la clave de autenticación de suscriptor, y que permite realizar la autenticación del abonado y cifrar la comunicación de radio entre el terminal móvil y la red.

El AuC transmite los datos requeridos para la autenticación y cifrado a través del HLR hasta el VLR, MSC y SGSN que necesitan autenticar al abonado móvil. El AuC está asociado a un HLR a través de la interfaz H, y almacena claves de identificación para cada abonado móvil registrado en el HLR asociado[18].

### **GMSC. Pasarela del Centro de Conmutación Móvil**

Un GMSC no es otra cosa que un MSC que se encuentra localizado entre la PSTN y el resto de equipos MSC en la red. En el caso de una llamada entrante a la red móvil proveniente de una red PSTN, la llamada es encaminada hacia un GMSC que interroga al HLR apropiado y posteriormente encamina la llamada al MSC en el cual se encuentre el terminal móvil hacia el cual está dirigida la llamada. Puede decirse entonces de manera general que el GMSC es un MSC que realiza la función de encaminamiento hasta la ubicación del terminal móvil adecuado en una comunicación[18].

### **GGSN. Pasarela del Nodo de Soporte GPRS**

El GGSN proporciona el interfuncionamiento con redes externas de conmutación de paquetes a las que se conecta a través de la interfaz Gi, y está conectado con uno o varios SGSN a través de la interfaz Gn. La función de registro de posición en un GGSN almacena información de suscripciones y datos de encaminamiento (como la dirección del SGSN donde el terminal móvil está registrado) para cada abonado que tenga al menos un contexto de protocolo de paquete de datos activo. Dicha información es recibida desde el HLR y el SGSN, y es necesaria para poder establecer un túnel de tráfico de datos en paquetes, destinado a un terminal móvil, con el SGSN en el cual se encuentra registrado.

El SGSN y el GGSN contienen funcionalidad de encaminamiento IP y pueden estar interconectados por *routers* IP. Cuando el SGSN y el GGSN están en diferentes redes móviles, se interconectan a través de la interfaz Gp que proporciona la funcionalidad de la interfaz Gn y adicionalmente incorpora una funcionalidad de seguridad requerida para la comunicación inter redes[18].

## BG. Pasarela de Borde

La BG es una pasarela entre una red móvil pública soportando GPRS y una red troncal externa usada para la interconexión con otras redes móviles públicas también soportando GPRS. El papel del BG es el de proporcionar el nivel apropiado de seguridad para proteger la red móvil pública y sus abonados[18].

La Figura 3.5 mostrada a continuación presenta la estructura de la red central o red de núcleo de UMTS.

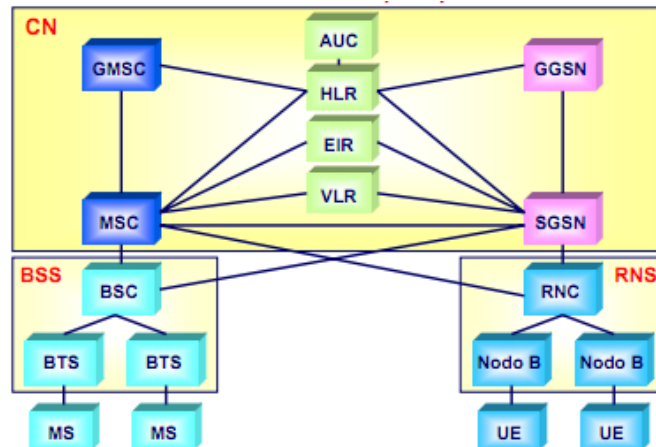


Figura 3.5: Estructura de la Red Central de UMTS

### 3.3.3.2. Red UTRAN

La UMTS *Radio Access Network* o UTRAN es la red de acceso de radio diseñada especialmente para UMTS. Tiene dos interfaces que lo conectan con la red central y con el equipo de usuario, la interfaz Iu y la interfaz Uu respectivamente. La red UTRAN se encuentra conformada por tres elementos que son el RNC, el Nodo B, y el RNS que se forma de la unión de los RNC con los Nodos B.

#### RNC. Controlador de la Red de Radio

El RNC es la entidad controladora de un RNS y se encarga del control general de los recursos de radio proporcionados por uno o varios Nodos B. Este elemento es responsable de las decisiones de *handoff* que requieren señalización al terminal móvil. El RNC se conecta a la CN a través del interfaz Iu, aunque existe una interfaz Iu para las aplicaciones de conmutación de circuitos denominada Iu-CS y otra para las aplicaciones de conmutación de paquetes denominada Iu-PS.

Debido a las funciones que realiza el RNC de UMTS es comparable con el BSC de una red GSM y su área de operación puede variar de dos a múltiples celdas[18].

Las funciones generales que lleva a cabo un equipo RNC dentro de la red de acceso de UMTS son las siguientes:

- Manejo de los recursos de transporte de la interfaz Iu
- Control de los recursos lógicos del Nodo B
- Manejo de tráfico en los canales comunes
- Modificación del grupo activo de celdas que desemboca en un procedimiento de *soft handoff*
- Asignación de códigos de canalización en el enlace de bajada
- Control de potencia de lazo abierto para el enlace de subida
- Control de potencia para el enlace de bajada
- Control de admisión[20].

### **Nodo B**

El Nodo B es el componente equivalente a una estación base en GSM y el responsable de la transmisión/recepción de radio hacia y desde los terminales móviles en una o más celdas UMTS, aunque es recomendable que un Nodo B solamente preste servicio a una celda. La importancia del Nodo B dentro del sistema radica en que es el encargado de implementar la capa física de la interfaz aérea.

Un nodo B puede soportar el modo FDD, el modo TDD, o una operación en modo dual, y se conectan a los RNC a través de las interfaces Iubis y a los terminales móviles a través de las interfaces Uu. Entre las principales funciones complementarias de un Nodo B pueden mencionarse las siguientes:

- Mapeo de los recursos lógicos en recursos de *hardware*
- Transmisión de los mensajes de información del sistema

- En el modo FDD realiza un control de potencia de lazo cerrado en el enlace de subida
- Reportar las mediciones de interferencia en el enlace de subida y la información de potencia en el enlace de bajada

Queda claro que además de las funciones mencionadas el Nodo B debe ejecutar las funciones propias de Capa 1 en un sistema de comunicaciones, es decir codificación, modulación, entrelazado, etc[18][19].

### RNS. Subsistema de la Red de Radio

La Red de acceso UTRAN está compuesta de uno o varios RNS que pueden estar interconectados entre sí a través de la interfaz Iur. El RNS tiene la función principal de realizar la asignación y liberación de recursos de radio para permitir la comunicación con terminales móviles en una cierta área. Un RNS está compuesto de un RNC y uno o varios Nodos B[18].

La Figura 3.6 muestra la estructura detallada de la red de acceso de radio UTRAN con cada uno de los componentes explicados anteriormente.

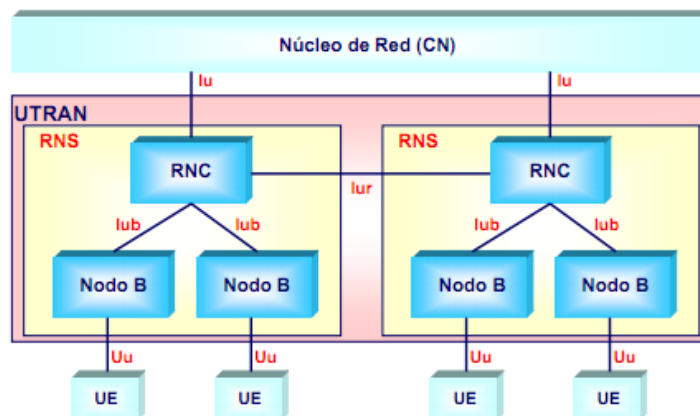


Figura 3.6: Estructura de la Red de Acceso UTRAN

#### 3.3.3.3. Estación Móvil

Una estación móvil es en otras palabras el equipo de usuario y está compuesta por el equipo móvil (ME) y la tarjeta de identificación de abonado UMTS (USIM).

El equipo móvil es el encargado de la transmisión y recepción a través de la interfaz de radio y fue descrito anteriormente como Equipo de Usuario en la sección de Modelo de

Referencia de la Arquitectura de Red; mientras que el USIM es un módulo de identidad que contiene los datos y características que definen a un abonado. Un USIM tendrá una única identidad y será asociadas con uno y sólo un ambiente[18].

En una zona será posible identificar únicamente a un usuario por el USIM, y este será usado para proveer características de seguridad, así como para actualizar información específica a través de la interfaz aérea en una manera segura. El USIM es una evolución de las SIM utilizadas en GSM, y en el sistema UMTS estas tarjetas son de mayor memoria, capacidad y permiten un mejor desempeño.

Un equipo de usuario en UMTS puede operar en uno de tres modos de operación: por conmutación de circuitos, por conmutación de paquetes o por conmutación de circuitos y paquetes; esto debido a que en UMTS, las capacidades de acceso de radio del equipo de usuario han sido fijadas para soportar un gran monto de diferentes parámetros. El UE incluye adicionalmente parámetros multimodo, lo cual significa que está hecho para soportar tanto FDD, como TDD, y además que está en capacidad de permitir la coexistencia de GSM y UMTS.

Dos estados de operación son definidos para el funcionamiento del UE, un estado suspendido y un estado conectado.

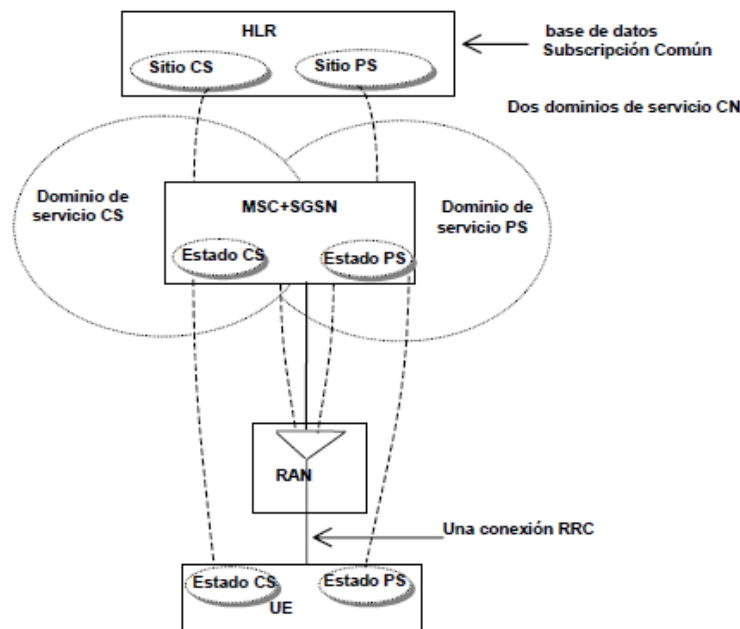


Figura 3.7: Conexión de un UE a la red UMTS

La Figura 3.7 muestra el principio de conexión de un equipo de usuario cuando la red



central está formada por nodos de servicio por conmutación de paquetes y por conmutación de circuitos.

El estado conectado entra en funcionamiento cuando la conexión es establecida entre el UE y un RNC, y es abandonado para retornar al estado suspendido cuando la conexión es liberada o cuando existe una falla en el establecimiento o mantenimiento de la misma[17].

### 3.3.4. Arquitectura de Protocolos

#### 3.3.4.1. Capas

Los protocolos sobre las interfaces Iu y Uu se dividen en dos planos o estructuras dependiendo de sus características y del tipo de funciones que llevan a cabo.

- **Protocolos de Plano de Usuario:** Son los protocolos encargados de implementar el servicio de portadora de radio para el transporte de datos básicamente.
- **Protocolos de Plano de Control:** Son los encargados de controlar las portadoras de radio y la conexión entre el equipo de usuario y la red, control que se da en diversos aspectos incluyendo solicitud de servicio, control de recursos, *handoff*, etc.

Tanto los protocolos de plano de usuario como los protocolos de plano de control se encuentran distribuidos en tres capas que son las que conformar la interfaz de radio del sistema UMTS. Estas capas son la Capa Física o Capa 1 (L1), la Capa de Enlace de Datos o Capa 2 (L2), y la Capa de Red o Capa 3 (L3).

La Capa Física no contiene ninguna subcapa en su estructura, mientras que la Capa de Enlace contiene varias subcapas entre las que se encuentran la Subcapa de Control de Acceso al Medio o MAC, la Subcapa de Control del Enlace de Radio o RLC que se encarga de la corrección de errores y del control de flujo, la Subcapa del Protocolo de Convergencia de Paquetes de Datos o PDCP que tiene como objetivo llevar a cabo la compresión y descompresión de cabeceras IP y la transferencia de datos de usuario, y la Subcapa de Control de *Broadcast/Multicast* o BMC que tiene como función principal el mapeo de canales lógicos.

La Capa de Red también contiene una Subcapa de Control de Recursos de Radio (RRC) que es la encargada de la señalización en el plano de control de la Capa 3 entre

el equipo de usuario y la red de acceso UTRAN. A breves rasgos la Subcapa RRC se encarga de: establecimiento y liberación de conexión, difusión de información del sistema, establecimiento, reconfiguración y liberación de portadoras de radio, notificaciones de paginación, y control de potencia.

Las capas y subcapas presentes en los sistemas UMTS son divididas entre el plano de usuario y el plano de control dependiendo de la naturaleza de los protocolos que operan en ellas, es así como por ejemplo la Subcapa RLC se maneja en ambos planos mientras que las subcapas PDCP y BMC solamente existen en el plano de usuario.

La Figura 3.8 muestra la arquitectura de protocolos de la interfaz de radio utilizada por UMTS con cada una de sus capas, subcapas y planos.

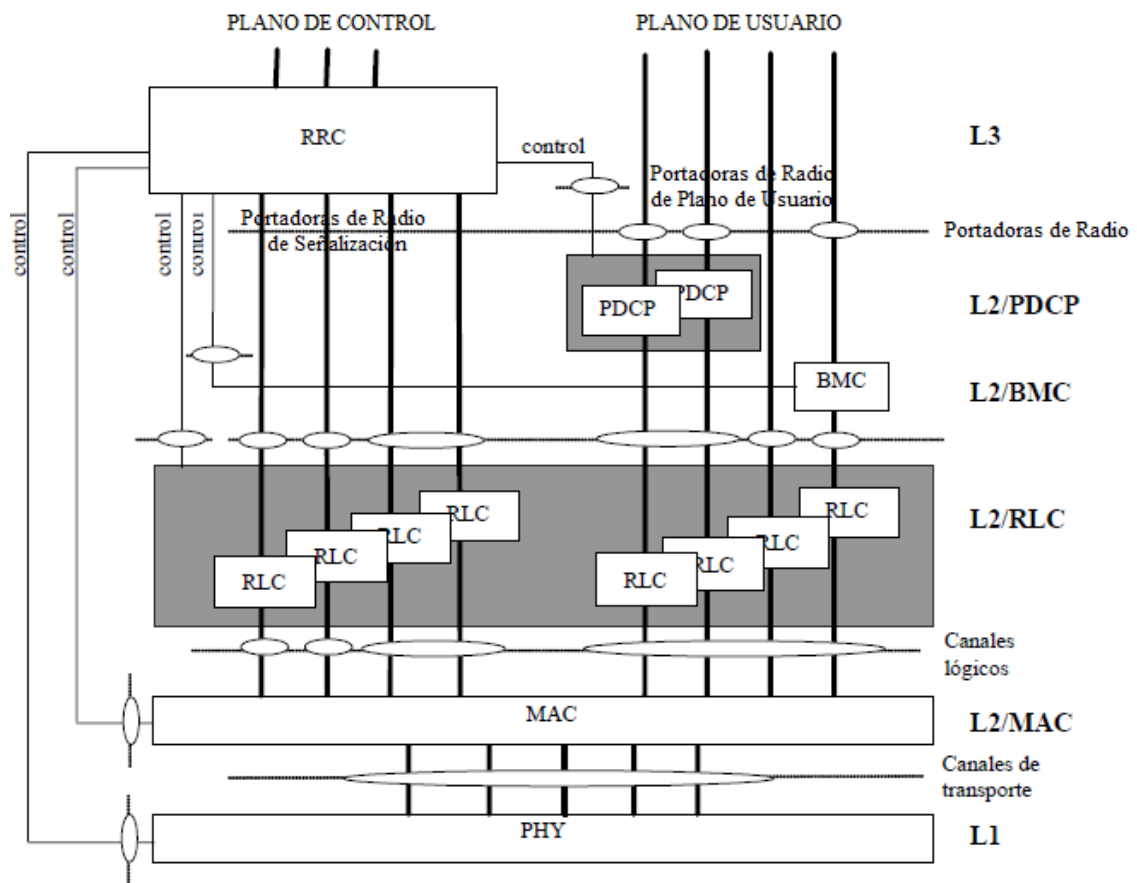


Figura 3.8: Arquitectura de Protocolos de UMTS

Como puede observarse en la Figura 3.8, el punto de acceso de servicio (SAP) entre la Capa MAC y la Capa Física provee los canales de transporte, mientras que el SAP entre la Subcapa RLC y la MAC provee los canales lógicos[17].

### 3.3.4.2. Protocolos

#### **ATM. Modo de Transferencia Asíncrono**

El transporte en la red central está basado en ATM. ATM es un procedimiento de transmisión basado en multiplexación asíncrona por división de tiempo para mezclar paquetes de datos. Estos paquetes de datos reciben el nombre de celdas ATM y tienen una longitud de solo 53 bytes.

En el modo ATM el flujo de información es separado en pequeños paquetes que posteriormente son transmitidos por la red. Cada paquete tiene un campo con carga útil de datos de 48 bytes de longitud y un campo de encabezado de 5 bytes. La longitud del campo de carga útil ha sido seleccionada buscando un equilibrio entre la cabecera, el tiempo de retraso, y el llenado de la carga útil.

La cabecera es la encargada de transportar información de direccionamiento. Para cada usuario se asigna un identificador de ruta virtual y de canal virtual. Puede haber varios circuitos virtuales dentro de una ruta normal, por lo tanto el campo de canal virtual es mucho más largo que el campo de circuito virtual. Por ejemplo, en una aplicación multimedia puede haber varios canales virtuales usados simultáneamente, cada uno para cada componente multimedia[17].

#### **AAL. Capa de Adaptación de ATM**

Por encima de la capa ATM se encuentra una capa de adaptación ATM conocida como AAL. Su función es procesar los datos desde la capa más alta para la transmisión ATM, es decir que se encarga de adaptar los datos que recibe de la capa superior para que estos puedan ser transportados por medio de ATM. Esta adaptación implica segmentar los datos en paquetes de 48 bytes para su transmisión, y re-ensamblarlos posteriormente en el lado receptor.

La capa ATM debe ser adaptada a las capas más altas de protocolos y también a la Capa Física que se encuentra por debajo. Para poder realizar la adaptación, la ITU ha definido lo que se conoce como clases de servicios ATM junto con las capas de adaptación AAL.

Existen 5 diferentes capas de adaptación de ATM que se identifican por medio de un número y son: AAL0, AAL1, AAL2, AAL3/4, y AAL5, aunque en realidad podrían

considerarse solo cuatro tipos de capas de adaptación ya que AAL tipo 0 significa que no se requiere de ningún tipo de adaptación.

La interfaz Iu de UMTS utiliza 2 tipos de AAL: AAL2 y AAL5. AAL2 está diseñada para la transmisión de datos en tiempo real con una velocidad de bit variable; mientras que AAL5 maneja los mismos requerimientos que AAL2, pero con la diferencia de que las transmisiones no se realizan en tiempo real.

Dentro de AAL puede manejarse de manera opcional una subcapa de convergencia que si se encuentra disponible puede implementar funciones tales como segmentación y re-ensamble, detección de errores de transmisión y aseguramiento de la transferencia de datos.

Con la función de segmentación y re-ensamble de los servicios de la subcapa de convergencia, es posible transmitir un tamaño de paquete mayor que el tamaño máximo definido para la celda[17].

### **Capa de Protocolo Iu UP**

Este protocolo transmite los datos de usuario desde la red UTRAN a la red central y viceversa. El protocolo Iu UP está localizado en el plano de usuario sobre la interfaz Iu, y es usado para transmitir datos de usuario asociados a una portadora de acceso de radio (RAB) que es la entidad responsable de transportar tramas de radio de una aplicación sobre la red de acceso en UMTS. Siempre el protocolo Iu UP es asociado solamente a una RAB, y en caso de que varias RAB se establezcan hacia un equipo de usuario determinado, entonces estas RAB deberán hacer uso de varios protocolos Iu UP para el transporte de datos[17].

### **SSCOP. Protocolo de Servicio Específico Orientado a la Conexión**

Protocolo de Servicio Específico Orientado a la Conexión (SSCOP) es un protocolo de transporte que proporciona una entrega confiable, garantizada, y en orden de mensajes a los protocolos de señalización que residen debajo de él en la pila de protocolos sobre una conexión *full duplex*. Además de garantizar una entrega ordenada y posibles retransmisiones de paquetes en caso de ser necesario, el protocolo SSCOP lleva a cabo un control de flujo, un reporte de errores al plano de control y una función *keepalive*. Es muy importante mencionar que para poder llevar a cabo todas estas funciones, el protocolo SSCOP hace uso de los servicios del protocolo IP para poder realizar la transferencia de sus paquetes.

Para el control de errores SSCOP genera una suma de verificación para cada paquete, la misma que permite detectar errores en la transmisión para su posterior reporte. Para realizar la función *keepalive*, el protocolo intercambia mensajes de sondeo con un intervalo de tiempo regular con el objetivo de asegurar que los extremos de la conexión y la conexión en sí misma se mantenga operativa y activa, especialmente en periodos en los cuales no se transmitan mensajes de señalización[22].

### **SCTP. Protocolo de Transmisión de Control de Flujo**

El protocolo SCTP es un protocolo de control de transmisión simple especialmente diseñado para el transporte de señalización sobre redes IP. SCTP es un protocolo de transferencia de datagramas que puede operar con prestaciones superiores a otros protocolos de servicios de datagramas menos confiables como UDP.

SCTP puede ofrecer los siguientes servicios:

- Transferencia de datos libre de errores y sin duplicaciones
- Segmentación a nivel de aplicación para la formación de datagramas
- Entrega ordenada de datagramas dentro de múltiples flujos de datos independientes y paralelos
- Capacidad para permitir que uno o los dos extremos de la conexión puedan tener más de una dirección IP
- Mecanismo de validación y asentimiento como protección ante ataques por inundación, proporcionando notificación de fragmentos de datos duplicados o perdidos

Generalmente un datagrama SCTP está formado por una cabecera común y por un fragmento, el mismo que contiene tanto información de control como los datos de usuario que el protocolo está transportando[23].

### **SSCF. Función Específica de Coordinación de Servicio**

Como su nombre lo indica, SSCF no es propiamente un protocolo sino una función que tiene el rol de servir como interfaz entre los protocolos que acceden a la capa de adaptación de señalización ATM y el protocolo SSCOP correspondiente; es decir que

la SSCF recibe la señalización de los protocolos de Capa 3 y los mapea o direcciona al protocolo SSCOP y viceversa. A manera de aclaración cabe mencionar que la capa de adaptación de señalización ATM conocida como SAAL tiene como objetivo proporcionar un transporte confiable de la señalización entre el terminal móvil, el punto de acceso y la función de interfuncionamiento (IWF).

La SSCF les proporciona los siguientes servicios a sus capas superiores:

- Entrega de datos sin acuse de recibo, lo que implica que no hay garantía ni en la entrega ni en la integridad de los datos
- Entrega ordenada de la secuencia de datos
- Transferencia transparente de datos, lo cual significa que los contenidos de la carga útil de datos no son restringidos y son transportados de manera transparente
- Establecimiento y liberación de conexiones de señalización para asegurar la transferencia de datos[24].

### **MTP-3B. Parte de Transferencia de Mensajes**

El protocolo MTP-3B describe las funciones y procedimientos para la transferencia de mensajes entre los puntos o nodos de señalización de la red. Tales funciones y procedimientos son llevados a cabo por la parte de transferencia de mensajes en el nivel 3, y por consiguiente esta asume que los puntos de señalización se encuentran conectados por los respectivos enlaces de señalización.

Las funciones de la red de señalización deben obligatoriamente asegurar una transferencia confiable de los mensajes de señalización de acuerdo a los requerimientos especificados para las recomendaciones de señalización utilizadas, en este caso las recomendaciones ITU Q.702, Q.703 y Q.706, incluso en caso de producirse fallas en los enlaces o en los puntos de transferencia de señalización. Con este objetivo el protocolo incluye las funciones y procedimientos apropiados y necesarios tanto para informar a las partes correspondientes de la red de señalización de las consecuencias de la falla, como para reconfigurar apropiadamente el enrutamiento de mensajes a través de la red de señalización.

De acuerdo a los principios expuestos anteriormente, las funciones del protocolo en la red de señalización pueden dividirse en dos categorías que son el manejo de los mensajes de señalización y la administración de la red de señalización en sí misma[23].

### **M3UA. Adaptación de Usuario de MTP-3B**

M3UA son las siglas de *MTP3-User Adaptation*. Como su nombre lo indica M3UA es un protocolo adaptado que transporta mensajes procedentes de un usuario de MTP3, en el caso de UMTS SCCP, a través de una red SCTP/IP hasta un nodo remoto.

Lo que hace M3UA simplemente es transportar los mensajes hasta el destino pero no realiza por sí mismo las funciones de la capa MTP3, es decir que funciona solamente como un complemento para el transporte de señalización pero no como un protocolo de señalización por sí mismo. Esto significa que M3UA no dispone de tablas de encaminamiento basadas en puntos de señalización, ni realiza ninguna otra función propia de MTP3.

En general, M3UA se utiliza como medio de transporte de primitivas entre la capa usuario de MTP-3B (SCCP) de un punto de señalización IP y la capa MTP3 de otro[23].

### **SCCP. Parte de Control de la Conexión de Señalización**

La Parte de Control de la Conexión de Señalización es un protocolo que proporciona un enrutamiento o encaminamiento extendido, control de flujo, segmentación, conexiones de servicios de red orientados o no orientados a la conexión, y facilidades de corrección de errores en redes de señalización SS7.

SCCP se basa en los servicios de MTP para el enrutamiento básico y la detección de errores, pero SCCP ofrece funciones mejoradas en ciertos aspectos en los cuales MTP tiene carencias. Estas mejoras se refieren principalmente a la capacidad de SCCP de direccionar aplicaciones dentro de un punto de señalización. Mientras que MTP solamente puede recibir y entregar mensajes desde un nodo completo, este protocolo tiene la capacidad de direccionar no solo al nodo en particular sino a ciertas aplicaciones específicas dentro del nodo[23].

### **ALCAP. Parte de Aplicación de Control del Enlace de Acceso**

ALCAP es el nombre genérico del protocolo Q.2630.1 utilizado para establecer conexiones a nivel de usuario hacia el dominio de conmutación de circuitos. Este protocolo provee capacidad de establecimiento, liberación y mantenimiento de conexiones AAL2 punto a punto a través de una serie de canales virtuales ATM, los cuales llevan enlaces AAL2.

Hay 11 diferentes tipos de mensajes definidos para el protocolo ALCAP. Cada mensaje inicia con un encabezado seguido por un parámetro de campo. El encabezado o cabecera está formado por un mensaje identificador y un campo de compatibilidad que indica como manejar campos irreconocibles o parámetros específicos como la versión del protocolo. La longitud del mensaje no es mayor a 4000 bytes, de los cuales 6 corresponden a la cabecera que asigna los primeros 4 bytes para el identificador de asociación de señalización, el cual incluye una asociación entre el mensaje transmitido y la entidad del protocolo que maneja esta conexión[17].

### **RANAP. Parte de Aplicación de la Red de Acceso de Radio**

RANAP es el protocolo de señalización de la interfaz Iu en la red de radio. Se encarga principalmente de gestionar la señalización y las conexiones entre el RNC y el SGSN en conexiones por conmutación de paquetes y entre el RNC y el MSC en conexiones por conmutación de circuitos, es decir que este protocolo maneja las señalizaciones sobre las interfaces Iu-PS e Iu-CS entre la red de acceso UTRAN y la red central.

Adicionalmente el protocolo RANAP proporciona un canal de señalización para transferir de manera transparente los mensajes entre el equipo de usuario y la red central. La implementación del protocolo RANAP provee las siguientes funciones:

- Gestión de la portadora de acceso de radio que permite manejar el establecimiento, modificación y liberación de RABs
- Re-localización del RNS de servicio que deriva en capacidades de movilidad
- Paginación del equipo de usuario para el acceso a la red
- Liberación de recursos en la interfaz Iu

El protocolo RANAP es muy importante para el funcionamiento del sistema UMTS debido a la importancia de los servicios que ofrece, los mismos que pueden ser clasificados en tres grupos: Servicios de control general que son los que se proporcionan a toda la interfaz Iu, servicios de control dedicado que son los que se encuentran dirigidos a un terminal en particular, y, servicios de notificación que pueden ser prestados a un solo terminal o a un grupo de terminales en un área específica[23].

### **RNSAP. Parte de Aplicación del Subsistema de la Red de Radio**



De manera general RNSAP especifica el protocolo de señalización entre dos RNC que opera sobre la interfaz Iur. RNSAP se encuentra dividido en cuatro módulos de funcionamiento, cada uno con funciones bien definidas.

- **Módulo de Procedimientos Básicos de Movilidad:** Este módulo se encarga de manejar los procedimientos utilizados para gestionar la movilidad dentro de la red UTRAN.
- **Módulo de Procedimientos de Canal Dedicado de Transporte:** Contiene los procedimientos que son utilizados para manejar los canales dedicados de transporte entre dos RNS. Si los procedimientos de este módulo no son utilizados en una interfaz Iur específica, no es posible el uso de canales dedicados de tráfico entre los correspondientes RNS.
- **Módulo de Procedimientos de Canal Común de Transporte:** Esta sección de RNSAP se encarga de control el flujo de datos de los canales comunes de transporte sobre la interfaz Iur.
- **Módulo de Procedimientos Globales:** Contiene los procedimientos que no se encuentran relacionados con un equipo de usuario específico[23].

### **NBAP. Parte de Aplicación del Nodo B**

El protocolo NBAP es un protocolo que se implementa también sobre la interfaz Iub y que incluye procedimientos comunes y procedimientos dedicados para la distribución de mensajes de paginación, para la difusión de información del sistema, para la petición y liberación de recursos dedicados, y para el manejo de recursos lógicos.

El NBAP es un protocolo de capas superiores que al igual que la mayoría de protocolos de aplicación maneja muchos tipos de mensajes que pueden transportar un alto volumen de datos. Específicamente NBAP es un protocolo de la capa de enlace de radio, el cual mantiene comunicación en el plano de control atravesando la interfaz Iub, lo que le permite controlar los recursos en esta interfaz y proveer la comunicación entre el Nodo B y el RNC[23].

Hay que aclarar que no todos los protocolos descritos anteriormente se incorporan simultáneamente en un sistema UMTS, sino que existen protocolos que se implementan

solamente en el dominio de conmutación de circuitos y otros que se implementan solamente en el dominio de conmutación de paquetes.

Los protocolos que se implementan sobre la interfaz Iu-CS son los siguientes: AAL, SSCOP, SSCF, MTP-3B, SCCP, Q.2630.1 (ALCAP) y RANAP. La Figura 3.9 muestra los protocolos correspondientes a la interfaz Iu-CS.

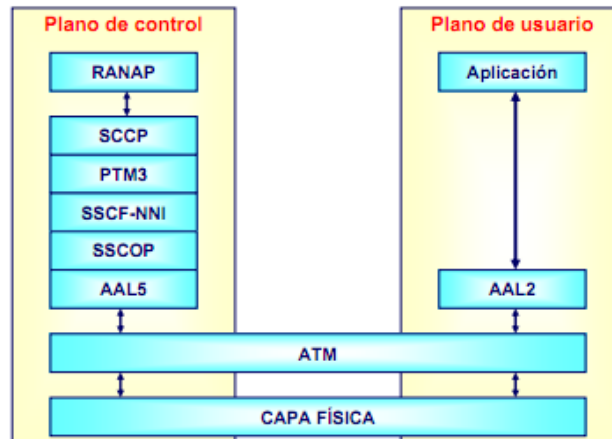


Figura 3.9: Estructura de Protocolos Iu-CS

Los protocolos que pertenecen a la interfaz Iu-PS son AAL, SSCOP, SSCF, SCTP, MTP-3B, M3UA, SCCP y RANAP, tal como se muestra en la Figura 3.10.

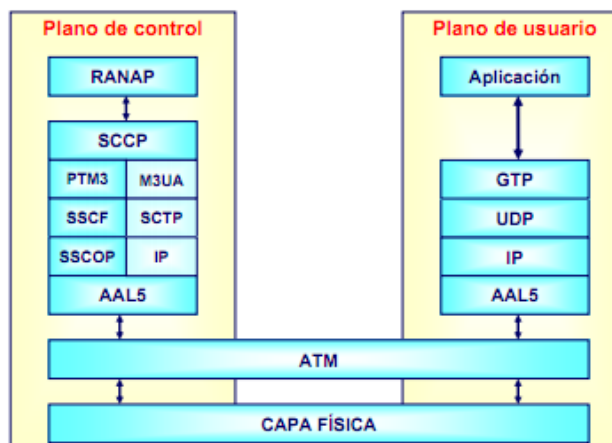


Figura 3.10: Estructura de Protocolos Iu-PS

Adicionalmente sobre la interfaz Iur se implementa el protocolo RNSAP y para la interfaz Iub el protocolo NBAP[25].

### 3.3.4.3. Interfaces

A lo largo de este capítulo se ha venido hablando de las interfaces sobre las cuales se implementan los diversos protocolos de red. Cada una de esas interfaces tiene funciones específicas y sirve para conectar diversas entidades dentro de la red. A continuación se realizará una descripción de las interfaces más importantes que se utilizan dentro de un sistema UMTS.

#### Interfaz Iu

Esta interfaz conecta el núcleo de red y la red de acceso de radio UMTS que de manera general se conoce como URAN y puede tener varios tipos de implementaciones físicas. La primera implementación y la que se utiliza para el servicio de comunicaciones móviles celulares es la red UTRAN o red de acceso terrestre de UMTS, la misma que se ha venido mencionado a lo largo del presente capítulo debido a que es la utilizada para la prestación de servicios móviles de 3G actualmente. Las otras implementaciones que puede tener URAN se denominan UBRAN y USRAN, que corresponden a la red de acceso banda ancha y a la red de acceso satelital de UMTS respectivamente; pero debido a que esas implementaciones no se utilizan para la prestación de servicios móviles de tercera generación no serán consideradas en el presente estudio. Por esta razón queda establecido entonces que Iu es la interfaz que conecta la red central o CN con la red de acceso UTRAN.

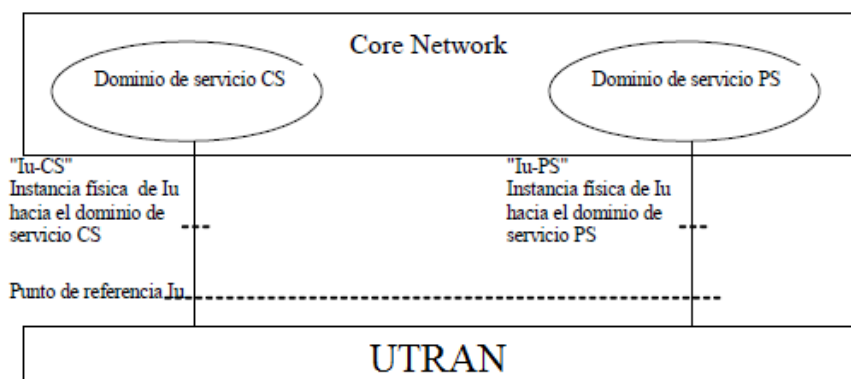


Figura 3.11: Interfaz Iu

Dentro de la interfaz Iu, se encuentran las interfaces Iu-CS e Iu-PS. Iu-CS es la instancia física de Iu hacia el dominio de servicio de conmutación de circuitos del CN, es decir que conecta la red UTRAN con el MSC; mientras que Iu-PS es la instancia física de Iu hacia el dominio de servicio de conmutación de paquetes del CN, lo que significa que conecta la UTRAN con el SGSN.

La Figura 3.11 muestra la conexión que realiza la interfaz Iu entre la red de acceso y el *core network*, tanto para el dominio de conmutación de circuitos como para el de conmutación de paquetes[17].

### **Interfaz Iub**

La interfaz Iub está situada entre el RNC y el Nodo B en la red UTRAN . Si se realiza una comparación con GSM Iub correspondería a la interfaz A-bis, la cual se encuentra entre la estación base y el BSC.

Cuando el RNS está formada por un RNC y uno o más Nodos B, esta interfaz es utilizada entre el RNC y Nodo B para soportar servicios ofrecidos a los usuarios y suscriptores de UMTS. La Iub interfaz además permite el control de los equipos de radio y asignación de radio frecuencias en el Nodo B. Toda esta interacción entre los Nodos B y la interfaz Iu se da gracias a que el protocolo de aplicaciones de Nodo B (NBAP) se implementa sobre la misma[17].

### **Interfaz Iur**

Con respecto interfaz Iur solamente puede decirse que es la que se utiliza para conectar dos RNC dentro de un RNS. Como se había mencionado anteriormente, sobre la interfaz Iur se implementa el protocolo RNSAP, el mismo que tiene a cargo funciones de señalización para servicios de movilidad y transporte de datos. Es por esta razón que esta interfaz puede soportar también el intercambio de información y datos de usuarios[17].

### **Interfaz Uu**

La interfaz Uu es la que se encuentra entre el equipo de usuario y la red UTRAN y por consiguiente es la encargada de permitirle el acceso a la red al terminal móvil. La tecnología de acceso al medio que utiliza la interfaz Uu es WCDMA que se analizará más adelante, y las funciones que incorpora por medio de las capas física, de enlace y de red serán detalladas también posteriormente[17].

### **Interfaces MAP**

Existen algunas interfaces que son las encargadas de comunicar elementos pertenecientes a la red central y que se conocen como interfaces MAP debido a que generalmente hacen uso del protocolo MAP con fines de señalización.

El protocolo MAP es un protocolo de señalización que proporciona una capa de aplicación para varios nodos en la red central de sistemas GSM, UMTS, y GPRS, la misma que permite una comunicación entre dichos nodos para el proporcionamiento de servicios a usuarios móviles. Generalmente el protocolo MAP es utilizado para acceder al HLR, al VLR, al MSC, al EIR, al AuC y al SGSN; es decir prácticamente a todos los elementos que conforman un *core network* de UMTS.

Comúnmente a las interfaces MAP se las nombra con una letra G acompañada de otra letra que indica la funcionalidad de la interfaz o el contexto en el cual se la está utilizando.

Gn (Interfaz de Nodo) y Gp (Interfaz de Red Móvil Pública) son las interfaces que se utilizan entre el SGSN y el GGSN, y son usadas para proporcionar movilidad entre estos elementos. La diferencia radica en que la interfaz Gn se usa cuando el GGSN y el SGSN se encuentra dentro de una misma red móvil pública, y la interfaz Gp es utilizada cuando estos dos elementos se localizan en diferentes redes. La interfaz Gn/Gp permite además a los SGSN comunicar datos de un suscriptor cuando se realiza el cambio de servicio a otro SGSN de la red.

La interfaz Gc (Interfaz de Contexto) es la que permite establecer una ruta entre un GGSN y un HLR. Esta ruta de señalización que se establece puede ser utilizada para recuperar información acerca de la localización del suscriptor y del soporte de servicios para el mismo. Todo esto con el objetivo de darle al sistema la capacidad de activar una dirección de red para paquetes de datos.

La interfaz Gf es la que incorpora el sistema para la comunicación entre el SGSN y el EIR con el objetivo de intercambiar datos que le permitan al EIR verificar el estado del IMEI que se recupera de un dispositivo móvil que accede a la red.

La interfaz entre un MSC/VLR y un SGSN se denomina Gs y sirve para que el SGSN pueda enviar información de localización hacia el MSC/VLR. La interfaz Gs puede utilizarse adicionalmente para que el MSC/VLR envíe una solicitud de paginación al SGSN o para que le indique que un terminal en particular se encuentra comprometido en un servicio que está siendo manejado por esta entidad en ese momento[20].

### **Interfaz B**

Es la interfaz que hay entre el MSC y su VLR asociado. El VLR es la base de datos de control para el *roaming* del suscriptor móvil en el área controlada por el MSC que

está asociado. En el momento en que el MSC necesita datos relacionados a un terminal móvil en esta área interroga al VLR para obtener dicha información, pero para que esto sea posible es necesario que el terminal móvil haya realizado previamente una actualización de localización con el MSC respectivo para el dicho MSC envíe la información al VLR que es el encargado de almacenarla. Cuando un usuario activa un servicio suplementario específico, o modifica algunos datos atribuidos a un servicio, el MSC informa, por medio del VLR, al HLR, y este almacena esta información y actualiza el VLR, si lo requiere[17].

### **Interfaz C**

Las interfaz que hay entre un MSC y su HLR asociado se denomina interfaz C. El MSC está en capacidad de interrogar al HLR asociado con un suscriptor cuando necesita obtener información para una llamada o mensaje corto dirigido a ese suscriptor, y para esto hace uso precisamente de la interfaz C[17].

### **Interfaz D**

La interfaz D es la que sirve para conectar el HLR y el VLR de una red central. Esta interfaz es usada para intercambiar datos relacionados a la localización del terminal móvil y a la administración del suscriptor, siendo la capacidad para establecer o recibir llamadas dentro de dicha área de servicio, el principal servicio que se provee al móvil.

El VLR informa al HLR de la localización de un móvil controlado con su número de equipo y el HLR envía hacia el VLR todos los datos necesarios para soportar el servicio de ese terminal. El intercambio de datos puede ocurrir en tres escenarios diferentes: cuando el suscriptor requiere un servicio particular, cuando el suscriptor requiere cambiar algunos datos asignados a su suscripción, o cuando algunos parámetros de suscripción son modificados[17].

### **Interfaz F**

Es la interfaz que hay entre un MSC y un EIR. Por lo general la interfaz F es utilizada entre estos dos elementos cuando se requiere intercambiar datos que le permitan al EIR verificar el estado del IMEI de un equipo que intenta acceder a la red.

En otras palabras esta interfaz realiza la misma función de la interfaz Gf, con la diferencia que la interfaz Gf comunica al EIR con el SGSN, es decir que se implementa en el dominio de conmutación de paquetes, mientras que la interfaz F comunica al EIR con el

MSC, lo que significa que se implementa en el dominio de conmutación de circuitos[17].

### 3.4. Especificaciones de la Capa de Red

A nivel de red en los sistemas UMTS se implementan tres módulos, uno de los cuales está constituido por la Subcapa RRC que ya había sido mencionada anteriormente.

El primer módulo de la Capa de Red de UMTS es el módulo de Control de Llamadas o *Call Control* (CC), el mismo que tiene a su cargo la implementación de las funciones relacionadas con el control de las llamadas, sobre todo con lo relacionado al establecimiento y liberación de las mismas.

El segundo módulo es el de Gestión de Movilidad o *Mobility Management* (MM), que tal y como su nombre lo indica, es el encargado de realizar las funciones relativas a la gestión de movilidad de los usuarios y por consiguiente de los terminales móviles; es decir que se encarga de realizar funciones complementarias de localización, actualización de posición, entre otras.

Finalmente el tercer módulo es el de Control de Recursos de Radio y está gobernado por la Subcapa RRC. Este módulo es el más importante en el funcionamiento de la Capa de Red ya que se encarga de controlar procedimientos vitales de operación como el *handoff* y el control de potencia. Debido a la importancia de la Subcapa RRC, a continuación se ahondará un poco más en lo que respecta a su estructura y funciones principales[25].

#### 3.4.1. Subcapa RRC

La Subcapa RRC en términos muy generales es la que controla la configuración de todas las subcapas inferiores, es decir a las subcapas PDCP, BMC, RLC, MAC y PHY.

La Subcapa de Control de Recursos de Radio está conformada por cuatro entidades funcionales encargadas de desempeñar diferentes roles. Estas cuatro entidades funcionales son:

- Entidad de Función de Control Dedicada
- Entidad de Función de Control de Paginación y Notificación
- Entidad de Función de Control de Difusión

- Entidad de Función de Enrutamiento

Por medio de estas entidades funcionales la Subcapa RRC proporciona tres tipos de servicios para las capas superiores. Por un lado se encuentran los servicios de Control General que permite transmitir información a todos los móviles que se encuentran en un área determinada. Por otro lado se encuentran los servicios de Notificación que permiten transmitir notificaciones a todos los terminales en un área geográfica, pero que generalmente se utilizan para enviar notificaciones a un grupo de equipos de usuario o a un equipo de usuario específico; y finalmente, se encuentran los servicios de Control Dedicado que se encargan del establecimiento y la liberación de conexiones y de la transferencia de mensajes que se envían por medio de dichas conexiones.

A través de estos servicios RRC se encarga de proporcionarles a las capas superiores conexiones de señalización que puedan soportar el flujo de información.

Entre las funciones más importantes que cumple la Subcapa RRC y que la convierten en una parte muy importante dentro del funcionamiento de UMTS se encuentran:

- Selección inicial de una celda
- Transmisión de información
- Recepción de voz y recepción de mensajes de notificación
- Establecimiento, mantenimiento y liberación de conexiones RRC
- Establecimiento, reconfiguración y liberación de las portadoras de radio
- Asignación, reconfiguración y liberación de los recursos de radio en una conexión RRC
- Manejo del procedimiento de *handoff* incluyendo la preparación y ejecución del procedimiento de *handoff* entre sistemas
- Ejecución de mediciones de control
- Control de potencia de lazo abierto
- Control de seguridad
- Direccionamiento de capas superiores



- Control de QoS
- Resolución de conexión TDD
- Soporte de configuración inicial para servicios CBS
- Soporte de recepción de CBS[21].

El Servicio de Difusión de Celdas (CBS) no es un servicio exclusivo de UMTS puesto que puede llegar a ser utilizado también en sistemas GSM. El servicio CBS permite el intercambio de mensajes de difusión de celdas que no son otra cosa que mensajes cortos de texto SMS o mensajes más largos que los SMS normales que son difundidos a cada uno de los terminales en una celda o en un conjunto de celdas. Los mensajes de difusión de celda se utilizan con diversos fines que incluyen la transmisión de difusión de tráfico, de noticias, y de información de diversos tipos[20].

### 3.5. Especificaciones de la Capa de Enlace

La Capa 2 o Capa de Enlace se encuentra formada por cuatro subcapas que son: la Subcapa del Protocolo de Convergencia de Paquetes (PDCP), la Subcapa de Control de *Broadcast/Multicast* (BMC), la Subcapa de Control del Enlace de Radio (RLC), y la Subcapa de Control de Acceso al Medio (MAC). De las cuatro subcapas que conforman esta la Capa 2, la más importante es la Subcapa MAC, y es por esta razón que su descripción será más amplia que la de las otras subcapas mencionadas.

#### 3.5.1. Subcapa PDCP

La Subcapa del Protocolo de Convergencia de Paquetes existe solamente en el plano de usuario y se utiliza para servicios que se obtienen desde el dominio de conmutación de paquetes. La Subcapa PDCP es responsable principalmente de tres funciones que tienen que ver básicamente con la compresión y descompresión de cabeceras y con la transferencia de información.

- **Compresión y descompresión de cabeceras:** La Subcapa PDCP se encarga de la compresión y descompresión de la información de control en los flujos de datos IP, con el objetivo de proporcionarle al sistema una mayor eficiencia espectral y una optimización en la eficiencia de los canales de la interfaz de radio.

- **Transferencia de datos de usuario:** La Subcapa PDCP tiene la función de recibir paquetes de datos que contienen información transmitida por el usuario para reenviarla a la entidad RLC apropiada y viceversa.
- **Soporte para la re-localización sin pérdidas del RNS de servicio:** En la práctica esto significa que la Subcapa PDCP tiene la capacidad de realizar el envío de paquetes PDCP hacia el nuevo RNS de servicio al mismo tiempo que gestiona la re-localización de los servicios hacia el nuevo RNS; de tal manera que no se producen pérdidas de paquetes durante el cambio del RNS activo. Esta función se encuentra disponible solamente cuando PDCP está utilizando el modo RLC con acuse de recibo para entregas en secuencia de paquetes[20].

### 3.5.2. Subcapa BMC

La Subcapa de Control de *Broadcast/Multicast*, al igual que la PDCP, solamente se implementa en el plano de usuario, y está designada para la adaptación de servicios *broadcast* y *multicast* en UMTS, con la particularidad que esta subcapa solamente maneja las transmisiones de *broadcast* y/o *multicast* que se realizan sobre el enlace de bajada.

Para el cumplimiento de sus funciones la Subcapa BMC la transferencia de mensajes de difusión de celda. Los mensajes de difusión de celda son enviados por medio del servicio de difusión de celda (CBS) y son mensajes de texto que pueden tener una longitud equivalente a la de los mensajes cortos SMS o una longitud mayor y que son enviados en difusión a todos los terminales que se encuentran en el área de cobertura de una celda o de un conjunto de celdas. El objetivo de los mensajes CBS es el de difundir información trascendente de la red o simplemente noticias de cualquier tipo[20].

Entre las principales funciones de la Subcapa BMC constan:

- **Almacenamiento de Mensajes de Difusión de Celda:** La entidad BMC en el RNC es responsable del almacenamiento de los mensajes de difusión de celda que deben ser enviados. Usualmente estos mensajes no pueden ser enviados inmediatamente después de ser recibidos desde el CN, y por esa razón su envío hacia los equipos de usuario debe ser agendado para otro momento; mientras tanto el BMC les proporciona un espacio de almacenamiento temporal.
- **Monitorización del volumen de tráfico y peticiones de recursos de radio**

**para CBS:** La Subcapa BMC debe también estimar la cantidad esperada de volumen de tráfico que se requiere para la transmisión de mensajes de difusión que se encuentran en cola. Esta información es transmitida a la Subcapa RRC de tal manera que pueda asignar los recursos de radio necesarios para el envío de mensajes.

- **Planificación de Mensajes BMC:** La entidad BMC en el RNC es responsable de la planificación de los mensajes y del envío de esta información por medio de mensajes de asignación. La entidad BMC en el equipo de usuario debe recibir estos mensajes de asignación e informar a la Subcapa RRC de tal manera que conozca el momento en el que debe esperar por mensajes CBS que le serán enviados. Obviamente que la gestión a nivel de Capa 1 para la asignación de recursos es hecha por la Subcapa RRC y no por la BMC.
- **Transmisión de Mensajes BMC hacia el UE:** La transmisión de los mensajes de difusión es realizada de acuerdo a la planificación definida en la función anterior.
- **Entrega de Mensajes de Difusión de Celda a las Capas Superiores:** Esta función consiste simplemente en que esta subcapa se encarga también de la entrega en las capas superiores de los mensajes de difusión que recibe[20].

### 3.5.3. Subcapa RLC

La Subcapa de Control del Enlace de Radio tiene a cargo la transmisión y retransmisión de los paquetes de datos sobre la interfaz aérea, pudiendo contener estos paquetes tanto información de usuario como información de control. El hecho de que la Subcapa RLC maneja la transmisión de paquetes asegura que los paquetes transmitidos sobre la interfaz de aire son enviados en un tamaño de paquete correcto. Adicionalmente esta subcapa mantiene el *buffer* de retransmisión y se encarga de dirigir los paquetes de datos entrantes al destino correcto que pueden ser las Subcapas RRC, BMC o PDCP.

Dentro de la Subcapa RLC se ejecutan tres modos de servicios que incluyen el modo transparente, el modo sin acuse de recibo y el modo con acuse de recibo[20].

#### Modo Transparente

Este modo recibe ese nombre debido a que ejecuta muy poco procesamiento sobre los datos que recibe. El modo transparente es utilizado por los canales BCCH, PCCH,

SHCCH, DCCH, DTCH y CCCH, aunque en el caso de los canales CCCH y SHCCH solamente es usado en el enlace de subida.

Los servicios que se implementan en el modo transparente de funcionamiento son principalmente los de segmentación y re-ensamblaje de paquetes, y la transferencia de datos de usuario.

Si un SDU de RLC tiene un tamaño mayor que un PDU del modo transparente de datos utilizado por las capas inferiores, entonces la Subcapa RLC realiza la segmentación de ese SDU para que pueda acoplarse al tamaño del PDU antes de añadirle las cabeceras propias de RLC. Todos los PDU del modo transparente que transportan información perteneciente a un mismo SDU que ha sido segmentado son enviados en el mismo intervalo de transmisión, y en dicho intervalo de tiempo no pueden ser enviados segmentos pertenecientes a otros SDU. En el lado de la recepción la Subcapa RLC en su modo transparente recibe esos SDU segmentados y se encarga de re-ensamblarlos adecuadamente[19].

### **Modo sin Acuse de Recibo**

El modo sin acuse de recibo es utilizado en los canales DCCH, DTCH, CTCH de manera bidireccional, y en los canales SHCCH y CCCH solamente para el enlace de bajada. En este punto la Subcapa RLC añade una cabecera al PDU que recibe y realiza los procedimientos necesarios para proteger los datos por medio de un cifrado en el transmisor, cifrado que posteriormente será decodificado en el receptor.

Los servicios que presta el modo sin ACK de la Subcapa RLC son los de segmentación y re-ensamblaje, concatenación, inclusión de bits de relleno, transferencia de datos de usuario pero sin control de flujo ni detección de errores, cifrado de datos, y verificación del número de secuencia de los paquetes enviados[19].

### **Modo con Acuse de Recibo**

El modo con acuse de recibo puede usarse solamente en los canales DCCH y DTCH. En este modo de funcionamiento los SDU que se reciben son segmentos y concatenados en los PDU que pueden ser de longitud variable. Luego de la segmentación un multiplexor se encarga de elegir los PDU y definir cuales son entregados a la Capa MAC para su transmisión. Este multiplexor puede, por ejemplo, enviar PDUs de control en un canal lógico y PDUs de datos en otro canal lógico, o simplemente enviar todos los PDUs sobre un mismo canal lógico sin importar el tipo.

En el modo con ACK de la Subcapa RLC pueden implementarse los siguientes servicios: segmentación y re-ensamblaje, concatenación, inclusión de bits de relleno, transferencia de datos de usuario, corrección de errores, detección duplicada, control de flujo, detección de errores de protocolo y recuperación de los mismos, y cifrado de datos[19].

Se han mencionado ya los diferentes tipos de servicios que se realizan en cada uno de los modos de funcionamiento, y por ende las funciones de la Subcapa RLC quedan ya establecidas de manera implícita, sin embargo a continuación se listarán y describirán brevemente todas las funciones realizadas en esta subcapa.

- ***Segmentación y Re-ensamblaje:*** Se realiza la segmentación, en el transmisor, de los PDU de capas superiores para ajustarlas al tamaño de las unidades de datos manejadas por RLC; y se realiza posteriormente el re-ensamblaje en el receptor.
- ***Concatenación:*** Los SDU de RLC pueden ser concatenados para llenar completamente la capacidad de los PDU de RLC.
- ***Inclusión de bits de bits de relleno:*** Cuando no se puede realizar la concatenación y los datos restantes que tienen que ser transmitidos no llenan por completo un PDU de un tamaño determinado, esta subcapa le agrega bits de relleno al campo de datos hasta completar el tamaño definido para el PDU.
- ***Transferencia de datos de usuario:*** La transferencia de datos de usuario es controlada por las configuraciones de calidad de servicio.
- ***Corrección de errores:*** Esta función se encuentra solamente disponible en el modo con ACK y es la encargada de proporcionar corrección de errores por medio de retransmisión.
- ***Detección duplicada:*** Por medio de esta función la subcapa es capaz de identificar duplicaciones en los PDU que recibe.
- ***Control de flujo:*** Esta función le permite al receptor RLC controlar la tasa a la cual se realiza el envío de información.
- ***Verificación de números de secuencia:*** Garantiza la integridad de los PDU que son re-ensamblados y proporciona un medio para detectar SDUs dañados por medio de la verificación del número de secuencia de los PDUs que son utilizados para formar un SDU.

- **Cifrado:** La Subcapa RLC realiza el cifrado de datos con el objetivo de garantizar la seguridad de los mismos[20].

### 3.5.4. Capa de Control de Acceso al Medio

La Capa MAC en la red de acceso de UMTS puede tener diferentes funcionalidades dependiendo del modo de funcionamiento en el que se encuentre, ya que como se había mencionado anteriormente, UMTS puede operar en modo FDD, en modo TDD o en un modo dual que incorpora los dos anteriores. Para hablar de funcionalidades, es importante decir que una función es una acción que un protocolo realiza por sí mismo, pero ayudado por uno o varios servicios que son provistos por las capas inferiores; siendo un servicio algo que es proporcionado a las capas superiores como resultado de la función que lleva a cabo dicho protocolo.

La Capa MAC se encuentra formada por diferentes entidades funcionales, que varían dependiendo del lado de la red en el cual se encuentren. Es decir que el protocolo de la Capa MAC no es simétrico y las entidades que se encuentran en el lado del equipo de usuario son diferentes a las entidades que se encuentran en la red UTRAN. La diferencia principal entre estas entidades se define obviamente desde el punto de vista de la funcionalidad que cada una proporciona, ya que la Capa MAC de UTRAN es la encargada de conectar al equipo de usuario con la red central, mientras que la MAC del equipo de usuario solamente lo conecta con la red UTRAN[19].

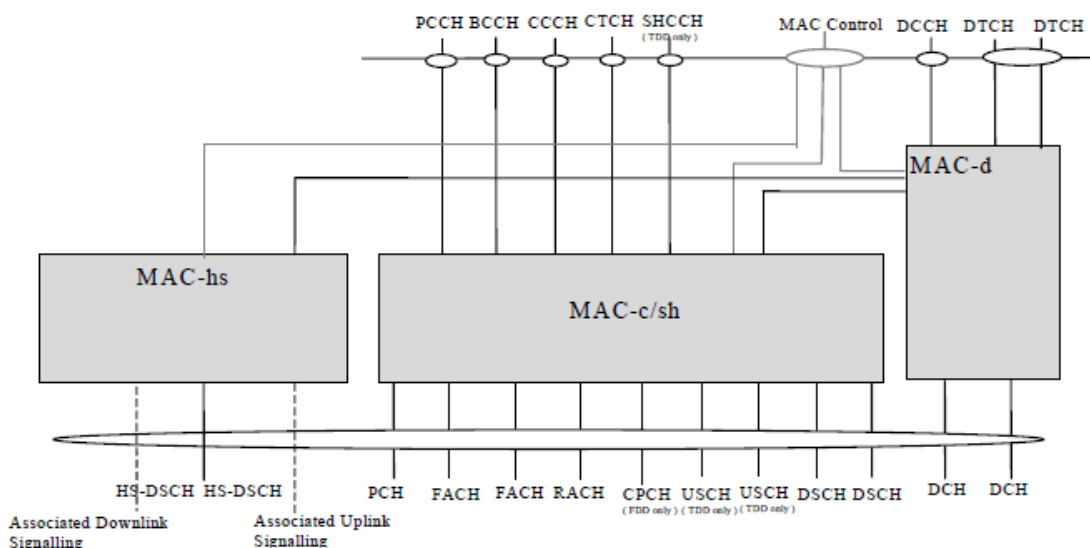
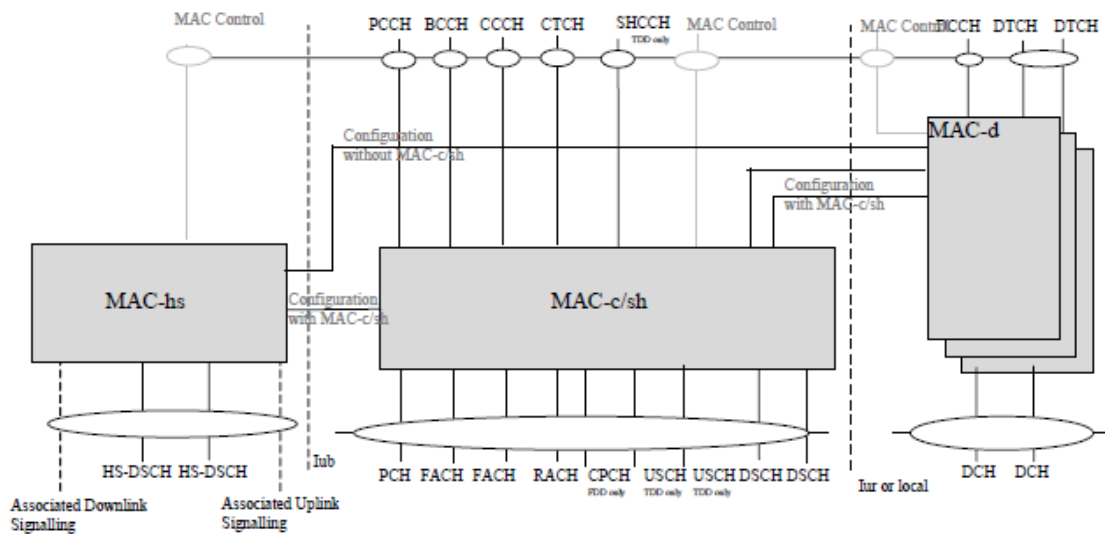


Figura 3.12: Arquitectura de la Capa MAC en el UE

La Figura 3.12 muestra la arquitectura de la Capa MAC en el lado del equipo de usuario y la Figura 3.13 muestra la arquitectura en el lado de la red UTRAN, cada una de ellas con las entidades funcionales que las conforman.



**Figura 3.13: Arquitectura de la Capa MAC en la Red UTRAN**

La entidad MAC -hs es la encargada de mantener el canal de difusión (BCH), y tanto en el lado del equipo de usuario como en el lado de la red UTRAN se dispone de una entidad de este tipo para cada celda.

La entidad MAC -c/sh tiene como función principal mantener los canales PCH, FACH, RACH y DSCH tanto en modo FDD como TDD, y adicionalmente los canales CPCH en FDD y USCH en TDD. En UMTS se dispone de una entidad de este tipo tanto en el lado del equipo de usuario como en el de la red UTRAN.

Finalmente la entidad MAC -d es la encargada de manejar los canales lógicos y de transporte dedicados. El equipo de usuario dispone solamente de una entidad MAC -d, mientras que la red UTRAN tiene una entidad de este tipo para cada equipo de usuario con canales dedicados.

Para el cumplimiento de sus funciones, la Capa MAC trabaja con los canales de transporte que se ubican entre ella y la Capa Física, y su configuración se encuentra a cargo de la Subcapa de Control de Recursos de Radio (RRC)[21].

### 3.5.4.1. Servicios de la Capa MAC

Los servicios que la Capa MAC ofrece a las capas superiores pueden resumirse principalmente en tres: transferencia de datos, reasignación de recursos de radio y parámetros MAC, y reporte de mediciones.

- **Transferencia de información:** Este servicio permite realizar la transferencia de SDUs MAC entre las entidades MAC pertenecientes al equipo de usuario y a la red UTRAN. Esta transferencia se lleva a cabo sin ningún tipo de confirmación y sin realizar ninguna segmentación en los datos.
- **Reasignación de recursos de radio y de parámetros MAC:** Este servicio es el encargado de modificar, por petición de la Subcapa RRC, la asignación de los recursos de radio y el formato de los canales de transporte utilizados para la comunicación, todo esto en función de la capacidad de los canales lógicos.
- **Reporte de mediciones:** Por medio de este servicio, la Capa MAC realiza el envío, a la Subcapa RRC, de informes relacionados con las medidas de tráfico y la calidad del enlace. Estos informes son utilizados a nivel de RRC para tomar decisiones de control en los recursos de radio[20].

### 3.5.4.2. Funciones de la Capa MAC

Queda claro que de manera general la función principal de la Capa MAC es la de controlar el acceso al medio físico evitando colisiones entre los datos pertenecientes a diferentes transmisiones que buscan acceder al medio físico para ser enviados. Sin embargo esta capa desempeña otras múltiples funciones que también resultan ser de vital importancia en el funcionamiento del sistema, y que se listan a continuación:

- Mapeo de los canales lógicos y de los canales de transporte a canales físicos
- Selección de formato de transporte adecuado para cada canal de transporte dependiendo de la velocidad instantánea de la fuente
- Manejo de prioridad en el flujo de datos de un equipo de usuario
- Manejo de prioridad entre equipos de usuario, lo que se traduce en una planificación dinámica



- Identificación de los equipos de usuario en los canales comunes de transporte
- Multiplexación y demultiplexación de PDUs de capas superiores en los bloques de transporte entregados y recibidos desde la Capa Física sobre los canales comunes de transporte
- Monitorización del volumen de tráfico
- Cambio de tipo de canal de transporte
- Cifrado para el modo transparente de RLC
- Selección de la clase de servicio de acceso para la transmisión sobre los canales RACH y CPCH
- Funcionalidad H-ARQ para las transmisiones DSCH de alta velocidad
- Entrega en secuencia y fragmentación y re-ensamblaje de PDUs de capas superiores en transmisiones DSCH de alta velocidad

### **Manejo de prioridad en el flujo de datos de un equipo de usuario**

La prioridad de un flujo de datos es utilizada cuando la Capa MAC combinaciones adecuadas de formatos de transporte para el flujo de datos del enlace de subida. Los flujos con una prioridad mayor obviamente serán transmitidos con una tasa de bits para que los flujos que no tienen una prioridad tan alta.

Es importante mencionar que no existe ningún parámetro de prioridad adjunto al flujo de datos, sin embargo la Capa MAC tiene que derivarlo a partir de dos fuentes que son el parámetro de ocupación de *buffer* recibido desde la Subcapa RLC y la prioridad de canal lógico MAC recibido desde la Subcapa RRC[20].

### **Identificación de los equipos de usuario en los canales comunes de transporte**

Si un equipo de usuario está direccionado sobre un canal común del enlace de bajada o si utiliza el canal RACH, entonces ese equipo puede ser identificado por la Capa MAC por medio de un campo de identificación que se encuentra en la cabecera MAC para este propósito. Si un mensaje fue direccionado hacia este UE, este es enrutado posteriormente hacia las Subcapas RLC, RRC, BMC y PDCP; y el resto de mensajes son eliminados[20].

## Monitorización del volumen de tráfico

La Subcapa RRC en la red UTRAN lleva a cabo un control dinámico de la portadora de acceso de radio. Puede decirse que RRC funciona como un mediador entre la red y la interfaz de radio, y por esta razón la Capa MAC eventualmente está obligada a reaccionar en función de las necesidades que presente la Subcapa de Control de Recursos de Radio.

Basada en los requerimientos de volumen de tráfico, la Subcapa RRC puede decrementar o incrementar la capacidad de asignación de recursos; pero para esto requiere de informes que le permitan conocer el estado del tráfico en la red, informes que son realizados por la Capa MAC por medio de su tarea de monitorización del volumen de tráfico.

En el lado del equipo de usuario, esta capa, monitoriza el *buffer* de transmisión del enlace de subida, y en el lado de la red UTRAN hace lo mismo pero para el *buffer* del enlace de bajada. En caso de que la cola en alguna de las dos entidades se encuentre saturada, la Capa MAC se encarga de informar inmediatamente a RRC en la red UTRAN para que tome las medidas apropiadas acerca de las asignaciones de los recursos de radio. La notificación se envía a la entidad RRC en UTRAN debido a que esta es la única que conoce la situación total de carga de todo el sistema.

La monitorización del volumen de tráfico es controlada por la Subcapa RRC, la cual está en capacidad de ordenarle a la Capa MAC para que realice monitorizaciones periódicas o monitorizaciones provocadas por evento. En el caso de las monitorizaciones periódicas, la Capa MAC envía un nuevo reporte periódicamente después de que se cumpla la expiración de un temporizador de valor variable, y en el caso de las monitorizaciones provocadas por evento, el informe es enviado junto con una alarma hacia RRC cuando la cola de transmisión ha rebasado el rango del valor permitido para el *buffer* que fue definido previamente.

El propósito del procedimiento de monitorización de volumen de tráfico es el de permitir un eficiente uso de los recursos de radio que vaya de acuerdo a las necesidades que se presenten. En caso de que los recursos asignados no sean suficientes para atender el tráfico que se genera, la red UTRAN debe reconfigurarse y añadir más recursos, cosa que puede lograrse por ejemplo asignando un canal dedicado en lugar de un canal compartido o simplemente reduciendo el factor de ensanchamiento en un canal en particular. Por el contrario, cuando la monitorización muestra que los recursos asignados son sub-utilizados, UTRAN debe también reconfigurar la conexión y cambiarla de un recurso dedicado a uno

compartido o incrementar el actual factor de ensanchamiento[20].

### **Cambio de tipo de canal de transporte**

La Capa MAC ejecuta el cambio entre canales entre canales comunes y canales dedicados de transporte basándose en una decisión de conmutación hecha por la Subcapa RRC. En el equipo de usuario la función dinámica de cambio de tipo de canal de transporte mapea y multiplexa los canales dedicados DCCH y DTCH en canales lógicos[20].

### **Cifrado para el modo transparente de RLC**

Si la Subcapa RLC se encuentra funcionando en el modo de operación transparente, es decir que actúa solamente como un puente entre la Subcapa PDCP y la MAC, entonces el cifrado debe ser realizado en la Capa MAC; y solamente en este caso la Capa MAC realizará funciones de cifrado ya que en cualquier otro modo de funcionamiento la Subcapa RLC es la encargada de realizar el cifrado.

El procedimiento de cifrado se lleva a cabo con el objetivo de prevenir la interceptación no autorizada de datos, y sea que se realice en la Capa MAC o en la RLC siempre utiliza el mismo algoritmo, es decir que el equipo de usuario no necesita manejar más de un algoritmo de cifrado a la vez. Sin embargo este algoritmo puede ser cambiado por pedido de la red UTRAN[20].

### **Funcionalidad H-ARQ para las transmisiones DSCH de alta velocidad**

El procedimiento híbrido ARQ o H-ARQ es un esquema de retransmisión con acuse de recibo que se emplea en el canal DSCH de alta velocidad. En el equipo de usuario esta funcionalidad es relativamente simple debido a que la entidad H-ARQ solamente tiene que verificar que los paquetes sean recibidos de manera correcta y posteriormente enviar un mensaje de ACK ya sea positivo o negativo a su entidad par H-ARQ en la red UTRAN. Por el contrario, en UTRAN el procedimiento H-ARQ es un poco más complejo y tiene que llevar a cabo al menos las siguientes funciones:

- **Planificación de datos:** Probablemente deben existir muchos equipos de usuario activos en una misma celda, y cada uno de ellos posee procesos de transmisión de datos que pueden tener diferentes prioridades. El planificador tiene que seleccionar que datos serán enviados primero, y es muy probable que los datos a ser retransmitidos tengan una prioridad mayor que los datos que se van a transmitir por primera vez.

- **Almacenamiento de datos en buffer:** Debido a que el canal DSCH de alta velocidad emplea una transmisión de datos con acuse de recibo, la entidad transmisora no puede descartar los datos hasta que hayan sido transmitidos y por esa razón debe almacenarlos en un *buffer* hasta que un ACK positivo haya sido recibido.
- **Funcionalidad de retransmisión:** Si un ACK negativo es recibido para un paquete determinado, ese paquete deberá ser retransmitido. Dado que el esquema H-ARQ utiliza una adaptación del enlace, la retransmisión puede utilizar un esquema diferente de modulación o una versión diferente de redundancia, esto con el objetivo de incrementar la probabilidad de que la nueva transmisión sea exitosa.

Es importante destacar que un paquete fallido no será retransmitido indefinidamente por el esquema H-ARQ de MAC. Si los datos contenidos en ese paquete son realmente muy importantes, dicho paquete será también protegido por un protocolo de retransmisión de una capa superior, en este caso RLC, el cual se hará cargo del problema en caso de no recibirse un ACK positivo en el tiempo esperado[20].

### **Entrega en secuencia y fragmentación y re-ensamblaje de PDUs de capas superiores en transmisiones DSCH de alta velocidad**

Debido a la utilización del esquema de retransmisión H-ARQ, es posible que el equipo de usuario reciba los paquetes de datos en un orden diferente al que fueron enviados originalmente por el canal DSCH de alta velocidad. Consecuentemente el equipo de usuario debe contar con un *buffer* de re-ordenamiento que le permita almacenar temporalmente los paquetes recibidos en desorden para organizarlos posteriormente.

Las funciones de ensamblaje y fragmentación son necesarias puesto que los paquetes de datos en el canal DSCH pueden tener diferentes tamaños que los requeridos en los *buffers* de la Subcapa RLC, sobre todo porque el canal DSCH está optimizado para la transferencia de datos a muy altas velocidades y por consiguiente los paquetes que se envían sobre este canal son típicamente muy largos[20].

### **3.6. Especificaciones de la Capa Física**

La Capa Física es la capa más baja dentro del modelo de protocolos de la interfaz de aire WCDMA, y es la encargada de manejar importantes y diferentes tareas que pueden depender del lado de la red en el cual se encuentre, pudiendo ubicarse tanto en el lado

del equipo de usuario como en el lado del Nodo B. Entre las principales funciones de la Capa Física se encuentran el manejo de los esquemas de modulación y de los códigos de ensanchamiento, así como la codificación de canal; funciones que serán tratadas dentro de la presente sección de manera general independientemente del lado de la red en el cual se llevan a cabo.

La Capa Física tiene interfaces lógicas tanto hacia la Capa MAC como hacia la Subcapa RRC. La interfaz hacia la MAC se denomina PHY y es utilizada para la transferencia de datos por medio de los canales de transporte, mientras que la interfaz de control PHY o CPHY es la encargada de enlazar las capas Física y RRC y es utilizada para la transferencia de información de control y mediciones. Esta interfaz es usada solamente para gestiones de la Capa 1 y la información que la Capa Física obtiene por medio de ella no es enviada a ninguna otra entidad por medio de la interfaz de aire.

La red UTRAN puede operar en dos modos, FDD y TDD, y cada uno de estos modos configura requerimientos ligeramente diferentes en la funcionalidad de la Capa 1. En el modo FDD, las transmisiones en el enlace de subida y en el enlace de bajada utilizan diferentes bandas de frecuencia; mientras que en el modo TDD las transmisiones sobre ambos enlaces se realizan en la misma frecuencia pero en diferentes ranuras de tiempo. En este sentido a los sistemas WCDMA-TDD se los puede considerar en realidad como un sistema CDMA/TDMA debido a la utilización de diferentes ranuras de tiempo para las transmisiones, mientras que WCDMA-FDD responde al modelo clásico de CDMA y es principalmente en este modo en el cual se centran las principales aplicaciones y productos UMTS.

Un canal físico en el modo FDD está definido por una frecuencia o portadora y por un código, mientras que en el modo TDD ese mismo canal está definido por un código y una secuencia de ranuras de tiempo.

La tasa de *chip* en la interfaz de aire estándar de UTRAN es de 3.84 Mcps. Cada trama de radio tiene una duración de 10 milisegundos y se encuentra dividida en 15 ranuras de tiempo, lo que permite alojar hasta 2560 *chips* por ranura de tiempo y transportar el mismo número de símbolos en cada una de ellas. En este caso se asume que un *chip* puede acomodar solamente un símbolo, pero esto puede variar, debido a que es posible transportar más de un bit de datos dentro de un *chip* cuando se emplean esquemas de modulación de orden superior; por ejemplo, si se emplea un esquema de modulación QPSK es posible transferir dos bits de datos sin procesar dentro de cada *chip*. En consecuencia un

sistema QPSK de 3.84 Mcps puede en realidad transferir 7.68 Mbps de datos sin procesar, pero debido a que el factor de ensanchamiento más elevado permitido en sistemas FDD es de 4, un usuario solamente puede obtener  $7.68 \text{ Mbps}/4 = 1.92 \text{ Mbps}$  en un canal físico.

Sin embargo, esta es la tasa total de datos disponible, y la tasa que un solo usuario puede obtener depende del factor de ensanchamiento utilizado en el canal. En el modo FDD los factores de ensanchamiento van desde 4 a 256 para el enlace de subida y de 4 a 512 para el enlace de bajada, mientras que en el modo TDD van de 1 a 16 en ambas direcciones. Estos factores de ensanchamiento proporcionan tasas de canal desde 7500 símbolos/segundo hasta 960 Ksímbolos/segundo para FDD y desde 240 Ksímbolos/segundos hasta 3.84 Msímbolos/segundo para TDD. Es importante destacar que estos valores corresponden a un solo canal, pero un usuario puede tener varios canales simultáneamente[20].

### 3.6.1. Modos de Funcionamiento

#### 3.6.1.1. Modo TDD

Se utiliza en las bandas no pareadas. En este modo, las transmisiones del enlace de subida y de bajada se realizan sobre la misma banda de frecuencia portadora utilizando intervalos de tiempo sincronizado. Así, esas ranuras de tiempo sobre un canal físico se dividen en ranuras de transmisión y recepción.

La Figura 3.14 muestra un esquema del funcionamiento del modo TDD de UMTS.

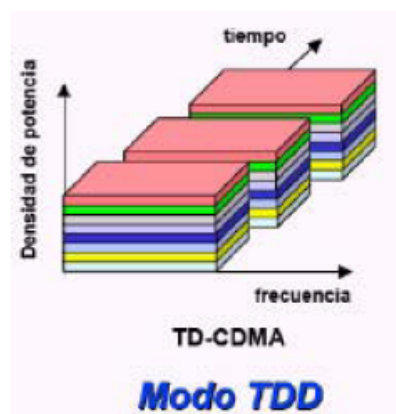


Figura 3.14: Modo TDD de UMTS

El reparto entre las ranuras se realiza asignando cada uno de los 15 intervalos de tiempo, en los que se divide cada trama, a uno u otro sentido. La única restricción a esta

regla es la de reservar al menos un intervalo para cada uno de los enlaces. Dicha asignación puede cambiar de trama a trama, lo que convierte a este modo en idóneo para aplicaciones de tráfico asimétrico como el acceso a Internet.

El modo TDD utiliza un toque de TDMA sobre cada portadora de radiofrecuencia, y los canales de la trama TDMA se asignan de forma independiente y dinámica para el enlace ascendente y descendente. Por lo general la modulación empleada en TDD es QPSK en ambos sentidos[25].

### 3.6.1.2. Modo FDD

Se utiliza en la banda pareada. En el modo FDD, las transmisiones del enlace de subida y de bajada se realizan en dos bandas de frecuencias separadas, es decir, una banda de frecuencias para el enlace ascendente y otra para el descendente. El modo FDD recibe también la denominación plena de WCDMA debido a que no recibe el toque de TDMA igual que el modo TDD. Su filosofía general responde a la de un sistema DS-CDMA, en el cual en cada transmisión, se multiplica a la señal de datos por una secuencia de código que ensancha su espectro y la separa de las demás. En este modo, cada transmisión se identifica por la portadora en la que se lleva a cabo y por su secuencia multiplicadora. La modulación por lo general sigue siendo QPSK en ambos sentidos.

La Figura 3.15 muestra un esquema del funcionamiento del modo FDD de UMTS.

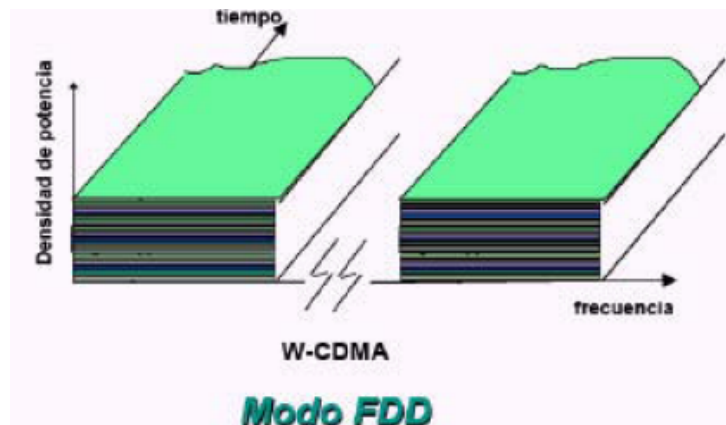


Figura 3.15: Modo FDD de UMTS

Al igual que en el modo TDD, en el modo FDD se maneja un ancho de banda de portadora de 5 MHz con una tasa de 3.84 Mcps y un formato de trama con una duración de 10 milisegundos dividida en 15 ranuras de tiempo, cada una equivalente a 0.666

milisegundos. Es muy importante aclarar que los intervalos de tiempo en FDD solamente marcan la cadencia en la variación de ciertos parámetros de radio como el control de potencia, más no implica que dichas ranuras se utilicen para transmitir alternadamente entre los enlaces de subida y de bajada como su sucede en el modo TDD[25].

### 3.6.1.3. Tipos de Celdas, Alcances y Velocidades en UMTS

En UMTS pueden definirse tres tipos de celdas dependiendo principalmente del área o extensión que cubran. Estos tres tipos de celdas son:

- **Picoceldas:** Son celdas que por lo general cubren áreas inferiores a 50 metros y se utilizan en entornos residenciales e interiores de oficinas. La zona de cobertura puede variar en funciones de la estructura de las edificaciones y de los materiales que se utilizan en las mismas.
- **Microceldas:** Este tipo de celdas se utilizan para cubrir áreas que van de 50 metros a 1 kilómetro de radio y permiten ofrecer cobertura y áreas urbanas y autopistas. Las microceldas pueden ser utilizadas también para cubrir zonas oscuras existentes en alguna macrocelda.
- **Macrocelas:** Las macrocelas son utilizadas para ofrecer cobertura celular en grandes áreas abiertas que por lo general son zonas suburbanas que pueden abarcar radios entre 1 y 40 kilómetros. Adicionalmente estas celdas se utilizan también como paraguas para cubrir huecos que pueden existir en zonas cubiertas con microceldas.

La Figura 3.16 muestra comparativamente los distintos tipos de celdas que se manejan en UMTS.

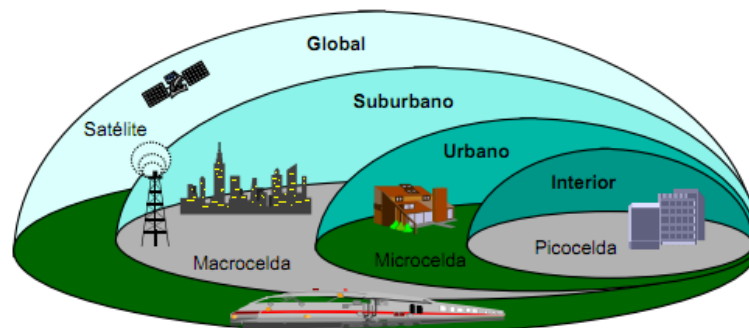


Figura 3.16: Tipos de Celdas UMTS



Como puede observarse en la Figura 3.16 existe otro tipo de celda para cobertura satelital que no resulta de interés en el presente estudio[25].

En el modo de operación FDD por lo general se trabaja con macroceldas y microceldas para la transferencia de tráfico simétrico. Este modo de funcionamiento es el más indicado para ofrecer movilidad total con un mínimo de degradación en la calidad del enlace. Las tasas de transmisión que pueden alcanzarse en este modo van desde los 144 Kbps hasta los 384 Kbps en ambientes de alta movilidad con velocidades comprendidas entre los 100 y 300 Km/h.

Por su parte el modo TDD resulta más idóneo para su aplicación en microceldas y picoceldas, ofreciendo por consiguiente una movilidad local a realizarse en áreas relativamente reducidas. En este modo de operación es posible conseguir tasas de transmisión más altas pero con velocidades muchísimo menores que en el caso de FDD, pudiéndose por ejemplo obtener tasas de entre 384 kbps a 1 Mbps en desplazamientos con una velocidad de apenas 10 Km/h y tasas de hasta 2 Mbps para velocidades inferiores.

A continuación la Figura 3.17 muestra las diversas tasas de transmisión que pueden alcanzarse en los diversos ambientes de movilidad[26].

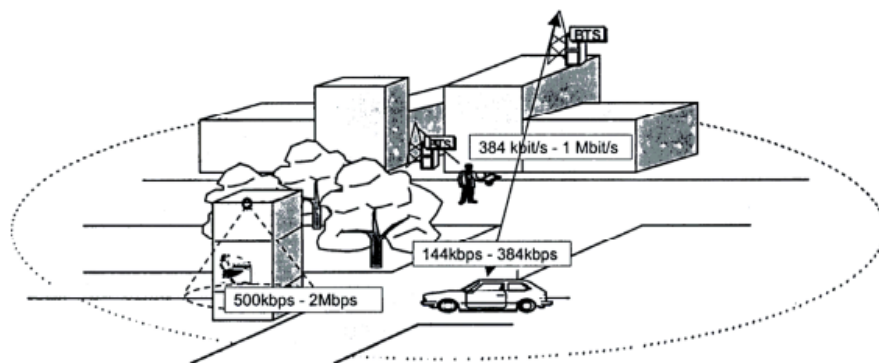


Figura 3.17: Tasas de Transmisión con Movilidad en UMTS

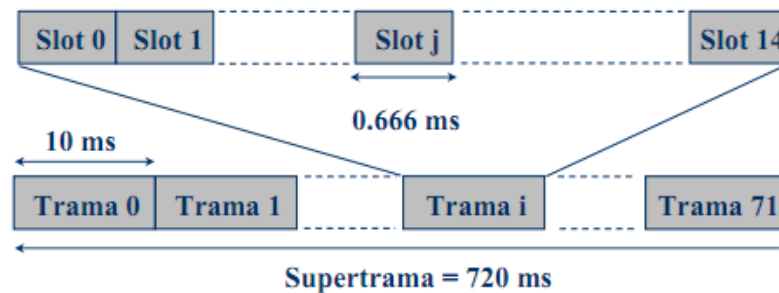
### 3.6.2. Estructura de la Trama UMTS

Como se ha mencionado anteriormente, la transmisión en UMTS se realiza estructurada en tramas que tienen una duración de 10 milisegundos y que a su vez se encuentran divididas en 15 intervalos o ranuras de tiempo con una duración de 0.666 milisegundos cada una. El tiempo de duración de 10 milisegundos de cada trama corresponde al tiempo de duración de un periodo de control de potencia.

Queda completamente claro que en el modo FDD la segmentación de las tramas en ranuras de tiempo no se la utiliza para llevar a cabo una duplexación de la banda de frecuencia para que los enlaces de bajada y de subida puedan compartirla, sino simplemente con el objetivo de obtener puntos de referencia temporal para la variación de ciertos parámetros del enlace de radio.

Las 15 ranuras de tiempo que forman una trama se encuentran numeradas de 0 a 14 para su identificación, y de la misma manera cada trama cuenta con un identificador conocido como Número de Trama del Sistema (SFN) que le permite numerarse dentro de una supertrama. Cada supertrama en UMTS se encuentra formada por 72 tramas de 10 milisegundos cada una, lo que significa que la duración de una supertrama es de 720 milisegundos.

La Figura 3.18 ilustra la estructura de trama y supertrama en UMTS[26].



**Figura 3.18: Estructura de Trama y Supertrama en UMTS**

Dentro de cada ranura de tiempo, lógicamente, se transportan datos de información y de control, los mismos que son transportados de manera diferente en el enlace de subida y en el enlace de bajada. A continuación se muestra la forma en que los canales físicos dedicados DPDCH y DPCCH son ubicados dentro de una ranura de tiempo perteneciente a una trama de radio.

En el enlace descendente los dos canales físicos dedicados DPDCH y DPCCH son multiplexados en el tiempo sobre una misma ranura, es decir que una ranura de tiempo contiene bits de datos pertenecientes al canal DPDCH y bits de control pertenecientes al canal DPCCH tal como se muestra en la Figura 3.19.

Cuando se tiene más de un canal DPDCH solamente se envía un canal de control por conexión.

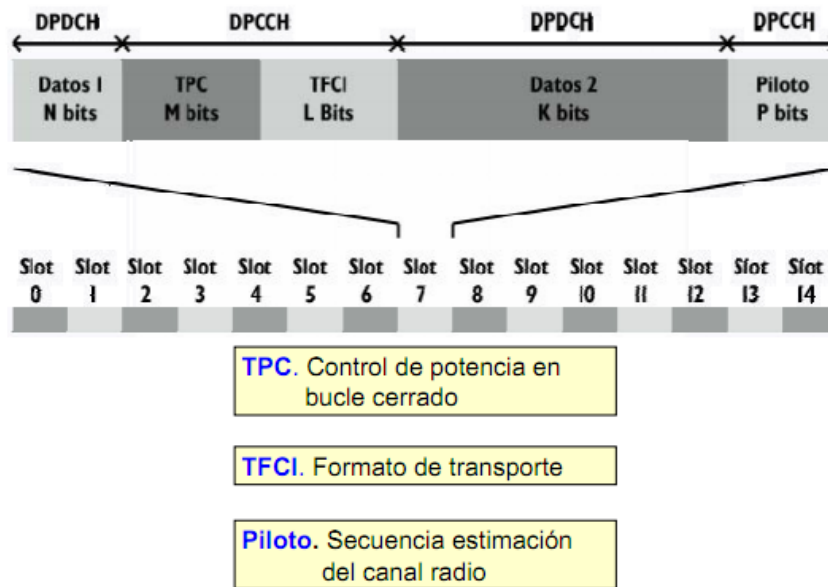


Figura 3.19: Tramas DPDCCH y DPCCH en el Enlace de Bajada

En el enlace ascendente la localización de los canales físicos dedicados se realiza tal y como se muestra en la Figura 3.20, con la consideración que en caso de manejar más de un canal DPDCCH los canales se van alternando.

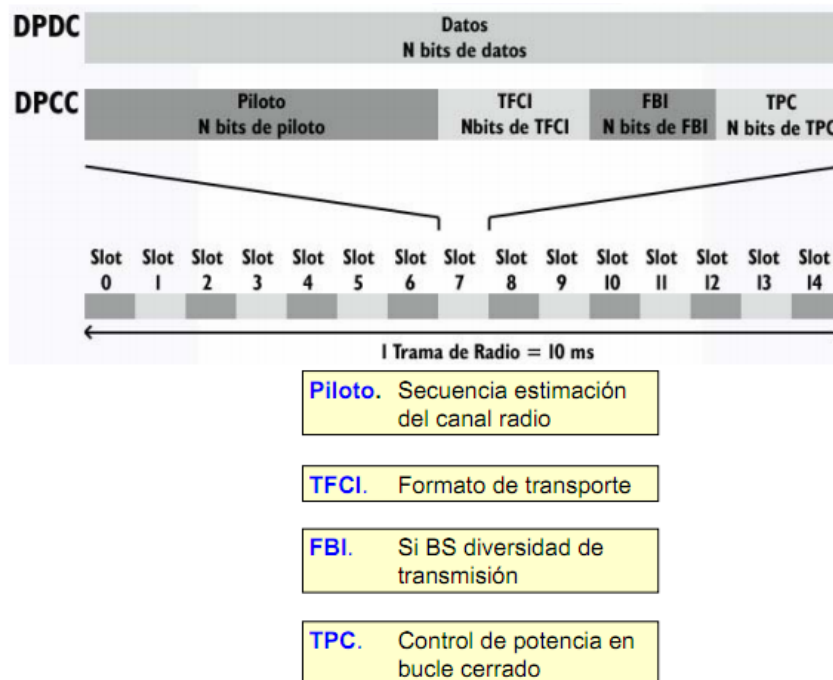


Figura 3.20: Tramas DPDCCH y DPCCH en el Enlace de Subida

En ambos casos el número de bits contenidos en cada segmento depende del factor de

ensanchamiento que en el caso del enlace de bajada puede ser de 4 a 512, y en el caso del enlace de subida puede ser de 4 a 256 en el canal DPDCH y de 256, lo que equivale a 10 bits por ranura, en el canal DPCCH[26][27].

### 3.6.3. Canales en WCDMA para UMTS

Existen tres tipos de canales en UTRAN: canales lógicos, de transporte y físicos. Tal como puede observarse en la Figura 3.21, los canales físicos se ubican en la interfaz de aire por debajo de la Capa 1, los canales de transporte se ubican entre las capas Física y MAC, y finalmente, los canales lógicos se encuentran localizados entre las subcapas MAC y RLC.

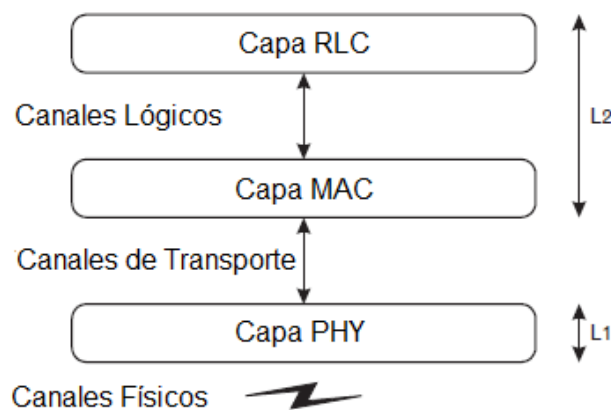


Figura 3.21: Tipos de Canales en WCDMA

Los canales lógicos definen que tipo de datos son transferidos, es decir que estos canales definen los servicios de transferencia de datos que son ofrecidos por la Capa MAC, y es por esta razón que son utilizados en la interfaz que se encuentra encima de la MAC.

Los canales de transporte definen como y con que tipo de características los datos son transferidos por medio de la Capa Física, y por ende son utilizados en la interfaz entre las Capas MAC y PHY. La utilización de canales de transporte es un nuevo concepto de WCDMA que anteriormente no había sido utilizado en su predecesor GSM.

Finalmente los canales físicos definen las características físicas exactas de los canales de radio y son los canales utilizados por debajo de la Capa Física en la interfaz de radio[20].

### 3.6.3.1. Canales Lógicos

Evidentemente que los canales lógicos no son un concepto de la Capa Física, ya que dado que se encuentran en la interfaz entre las capas MAC y RLC, forman parte en realidad de la Capa 2; pero son descritos en esta sección junto con los canales físicos y de transporte para que todo el concepto de canales en UMTS sea unificado en una sola sección.

Los canales lógicos pueden ser divididos en canales de control y canales de tráfico. Un canal de control puede ser tanto común como dedicado, teniendo en cuenta que un canal común es aquel que realiza una conexión punto a multipunto, es decir que es común para todos los usuarios en una celda; mientras que un canal dedicado es utilizado por un solo usuario en una comunicación punto a punto. De manera general los canales de control transfieren información del plano de control y los canales de tráfico información del plano de usuario.

Los canales lógicos de control que se encuentran definidos son los siguientes:

- **Canal de Control de Difusión (BCCH):** Es un canal común del enlace de bajada y se utiliza para difundir información del sistema e información específica de una celda.
- **Canal de Control de Paginación (PCCH):** También es un canal de enlace de bajada y se encarga de transferir información de paginación y algunas otras notificaciones.
- **Canal Dedicado de Control (DCCH):** Este canal se utiliza para enviar información de control a una unidad móvil. Es un canal dedicado punto a punto bidireccional que se establece cuando el equipo de usuario inicia una conexión con la red.
- **Canal Común de Control (CCCH):** Es un canal bidireccional que se utiliza para transmitir información de control de la red y que por lo general se utiliza cuando no existe una conexión por medio del canal DCCH.
- **Canal Compartido de Control (SHCCH):** Es un canal bidireccional que solamente se utiliza en el modo TDD y que se encarga de transportar información de control de canales compartidos tanto del enlace de subida como de bajada.

Los canales lógicos de transporte se listan a continuación:

- **Canal Dedicado de Tráfico (DTCH):** Es un canal bidireccional punto a punto que se encuentra a cargo de la transferencia de información de usuario.
- **Canal Común de Tráfico (CTCH):** El CTCH es un canal punto a multipunto del enlace de bajada que se utiliza para transferir información dedicada a un usuario o a un grupo de usuarios[20].

### 3.6.3.2. Canales de Transporte

Los canales de transporte se establecen en la interfaz entre la Capa MAC y la Capa Física. Los canales de transporte son codificados y se ajustan a la tasa ofrecida por los canales físicos. Todos los canales de transporte son unidireccionales y al igual que los canales lógicos pueden ser dedicados o comunes.

Dentro de los canales comunes de transporte se encuentran los siguientes:

- **Canal de Difusión (BCH):** Es un canal presente solamente en el enlace de bajada que se utiliza para difundir información de una celda específica o de todo el sistema.
- **Canal de Acceso de Bajada (FACH):** Es un canal común del enlace de bajada que está diseñado para transportar pequeñas cantidades de información, en parte porque el tiempo para su transmisión es limitado. Este canal se encuentra en capacidad de transportar cualquier canal de control.
- **Canal de Paginación (PCH):** Este canal también pertenece exclusivamente al enlace de bajada y su función es la transmisión de mensajes de paginación y notificaciones.
- **Canal Compartido del Enlace de Bajada (DSCH):** Es un canal del enlace de bajada compartido por varios usuarios y utilizado para realizar un control dedicado o para transferir tráfico de datos.
- **Canal de Acceso Randómico (RACH):** A diferencia de los canales anteriores el RACH es un canal del enlace de subida basado en contención y utilizado principalmente para el acceso inicial de un terminal a la red, aunque también puede utilizarse

para realizar un control dedicado que no es en tiempo real o para transferir tráfico de datos, siempre y cuando la cantidad de datos sea reducida porque el campo de datos de este canal es limitado.

- **Canal Común de Paquetes (CPCH):** El CPCH es un canal del enlace de subida que también se maneja con un procedimiento basado en contención para su acceso con el objetivo de evitar colisiones. Es utilizado para la transmisión de ráfagas de tráfico de datos y se implementa solamente en el modo FDD.
- **Canal Compartido del Enlace de Bajada de Alta Velocidad (HS-DSCH):** Este canal no es en realidad propio de los sistemas UMTS sino de su evolución HSDPA. Es un canal del enlace de bajada compartido por varios equipos de usuario a la vez y optimizado para la transferencia de datos a muy altas velocidades. Hace uso de un esquema muy eficiente de enlace adaptativo y permite cambios muy rápidos en la tasa de transmisión, ya que las tramas que se envían por medio de este canal tienen una duración de solamente 2 milisegundos en comparación a los 10 milisegundos de las tramas utilizadas para el resto de canales.
- **Canal Compartido del Enlace de Subida (USCH):** Es un canal del enlace de subida compartido por varios equipos de usuario y exclusivo del modo TDD. Su función es la de transportar información dedicada de control o tráfico de datos dependiendo de las necesidades.

Frente a todos los canales comunes de transporte mencionados anteriormente, existe solamente un canal dedicado de este tipo que se conoce como **Canal Dedicado (DCH)** y que tiene la capacidad de ofrecer comunicación exclusiva para un solo equipo de usuario. Este canal se maneja tanto en el enlace de subida como de bajada y sirve para transferir tanto información de control como de usuario. El canal DCH es complementario al canal DSCH, ya que este no podría operar por sí solo sin el soporte del canal dedicado[20].

### 3.6.3.3. Canales Físicos

Los canales físicos se utilizan para transmitir información por medio de la interfaz aérea y definen las características físicas exactas del canal de radio. Un canal físico está definido por una portadora y un código en el caso del modo FDD y por una ranura de tiempo y un código en el caso del modo TDD, y dependiendo del modo de operación los canales físicos puede tener ciertas diferencias. Los principales canales físicos para el funcionamiento de UMTS son los que se muestran a continuación.

- **Canal Físico Dedicado de Datos (DPDCH):** Es un canal físico dedicado encargado de transportar información del DCH y que existe en los enlaces de subida y de bajada del modo FDD.
- **Canal Físico de Acceso Randómico (PRACH):** Es el canal físico encargado de transportar al canal RACH, es decir es el canal físico para el acceso en el enlace de subida de los modos FDD y TDD.
- **Canal Físico Común de Paquetes (PCPCH):** Este canal tiene la función de transportar al canal común de paquetes para el transporte de información y puede ser utilizado simultáneamente por varios usuarios. Este canal se implementa en el enlace de subida del modo FDD.
- **Canal Físico Primario de Control Común (P-CCPCH):** Es el canal físico encargado de transportar al canal BCH, para lo cual se le asigna una tasa fija de 30 Kbps. Este canal se utiliza en los enlaces de bajada de ambos modos de operación.
- **Canal Físico Secundario de Control Común (S-CCPCH):** Tiene como función principal transportar a los canales FACH y PCH, los cuales que pueden ser mapeados al mismo canal o a canales separados. Solamente es transmitido cuando existen datos que se deben enviar, y utiliza tasas de transmisión variables.
- **Canal Físico Compartido del Enlace de Bajada (PDSCH):** Se encarga de transportar al canal compartido del enlace de bajada (DSCH) y se utiliza sobre el enlace de bajada siempre asociado con un canal DPCCH que informa a la entidad receptora acerca de parámetros como el control de potencia y el tiempo de acceso.
- **Canal Físico Dedicado de Control (DPCCH):** Se transmite simultáneamente con el DPDCH y tiene como objetivo transmitir información de control perteneciente a la Capa 1.
- **Canal Piloto Común (CPICH):** El canal piloto común se utiliza solamente en el enlace de bajada del modo FDD y es indispensable para llevar a cabo funciones de estimación de canal y de medición de celdas adyacentes. Este canal se transmite con una tasa fija de 30 Kbps y transporta una secuencia de bits predefinida. Por lo general este canal es utilizado como una referencia de fase para otros canales físicos como los de sincronización y acceso.
- **Canal de Sincronización (SCH):** Es el canal utilizado por los dos modos de operación para realizar la búsqueda de celdas y para llevar a cabo la sincronización



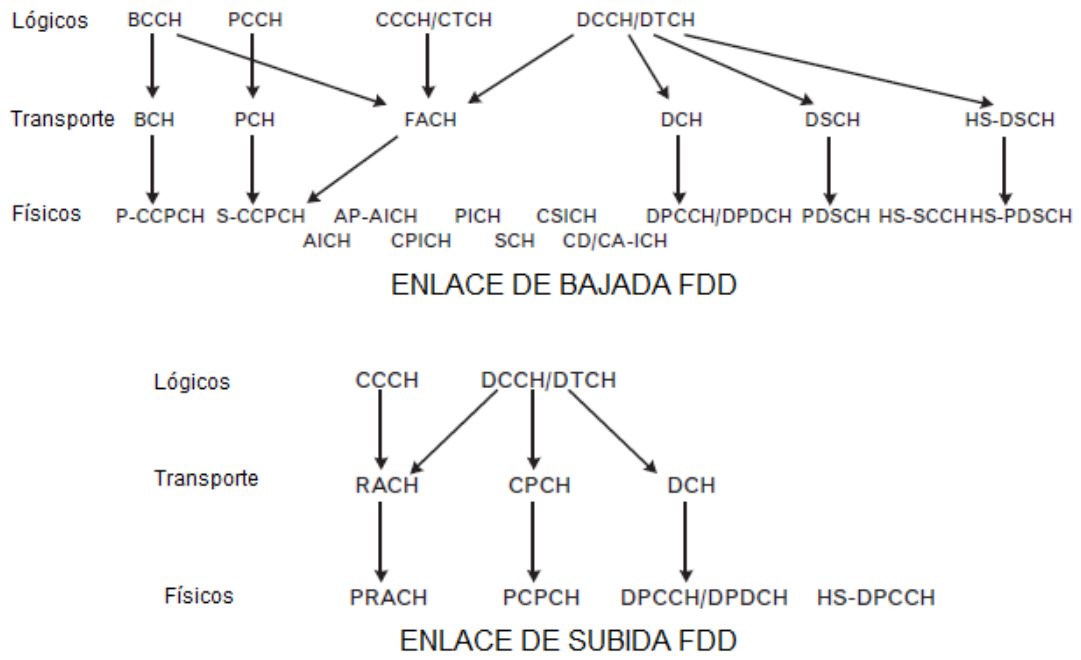
entre una celda y el equipo de usuario. El canal de sincronización solamente se transmite durante los primeros 256 *chips* de cada ranura de tiempo.

- **Canal Indicador de Paginación (PICH):** El canal PICH es el encargado de llevar indicadores de paginación para informar de la presencia de un mensaje de paginación sobre el canal de paginación.
- **Canal Indicador de Detección de Colisiones / Asignación de Canal (CD/CA-ICH):** Está encargado de llevar las indicaciones de detección de colisión pero solamente cuando la asignación de canal no se encuentra activa, porque en otro caso, se encarga de transmitir tanto los indicadores de detección de asignación como de asignación de canal al mismo tiempo.
- **Canal Físico Dedicado (DPCH):** Es el encargado de transportar al canal dedicado en el modo TDD.
- **Canal Físico de Sincronización de Nodo B (PNBSCH):** Transporta las ráfagas de sincronización de los Nodos B y es utilizado por la red para ganar sincronización en tiempo entre los Nodos B presentes en ella. Este canal se utiliza solamente para comunicaciones entre Nodos B, por lo que no puede considerarse como un canal ni del enlace de subida ni del enlace de bajada, pero sí como un canal exclusivo del modo TDD[20].

#### 3.6.3.4. Mapeo de Canales

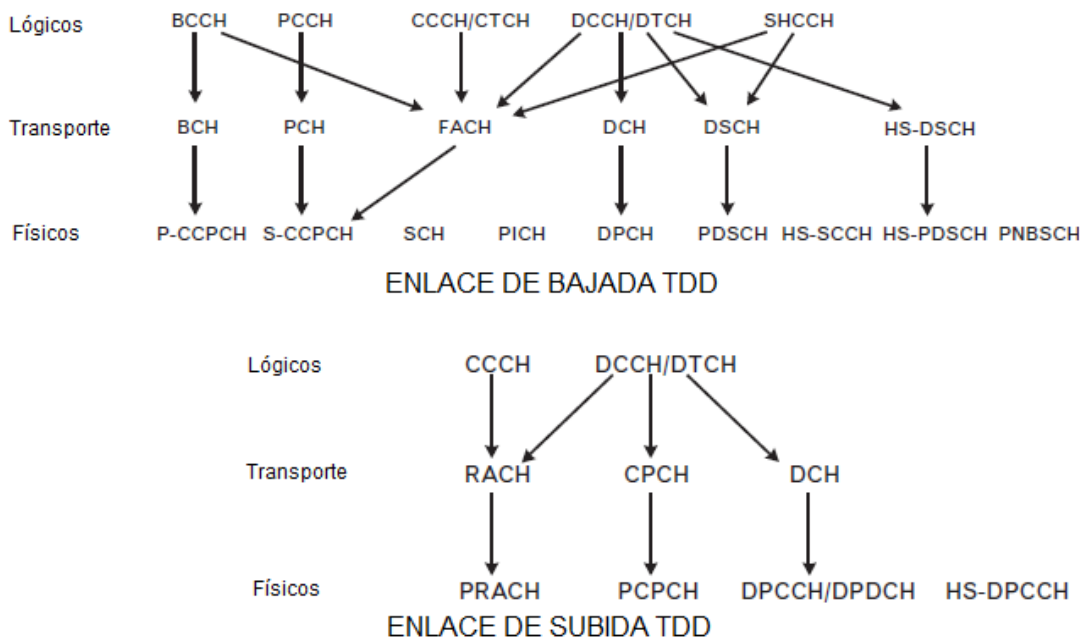
La Figura 3.22 representa el mapeo que se realiza de un tipo de canal de otro, es decir las relaciones que existen entre los canales físicos, de transporte y lógicos dentro del modo FDD. Como puede observarse existen muchos canales físicos que no están mapeados hacia ningún otro canal; esto se debe a que son algún tipo de canal de indicación que solamente envía instrucciones al canal físico receptor en un sentido unidireccional, información que no resulta de interés para las capas superiores, y que por lo tanto no necesita ser transferida a ningún otro tipo de canal.

Pueden encontrarse muchos canales que son utilizados en los dos modos de operación, pero también pueden encontrarse canales que están presentes solo en uno de los dos, cualquiera que este sea; y la presencia o ausencia de un canal en un modo u otro obedece a las diferencias funcionales que presenta la Capa Física en función del modo de operación que se esté utilizando; diferencias que definen la utilización o no de un determinado canal.



**Figura 3.22: Mapeo de Canales en FDD**

La Figura 3.23 muestra el mapeo o asignación de canales realizado tanto en el enlace de subida como en el enlace de bajada en el modo TDD.



**Figura 3.23: Mapeo de Canales en TDD**

### 3.6.4. Funciones de la Capa Física

#### 3.6.4.1. Codificación y Decodificación FEC

Los esquemas FEC se utilizan con el objetivo de reducir los errores de transmisión. La codificación para la corrección de errores es conocida también como codificación de canal. La idea de estos esquemas es añadir redundancia al flujo de bits que va a ser transmitido, de tal manera que errores ocasionales en dichos bits puedan ser corregidos en la entidad receptora. Existen muchos esquemas disponibles de control de error, cada uno con diferentes capacidades, y la elección del esquema de codificación de canal depende de los requerimientos del canal en el cual se quieren aplicar. En el caso de la red UTRAN se emplean dos esquemas de codificación FEC: los códigos convolucionales y los códigos turbo.

Los códigos convolucionales pueden ser utilizados para bajas tasas de datos y los códigos turbo para tasas más elevadas. De hecho, la codificación turbo es mucho más eficiente con altas tasas de datos y no tiene un desempeño excelente con bloques de datos pequeños; esto se debe a que bajas tasas de bit representan menos bits en el *interleaver* interno del codificador turbo y finalmente esto se traduce en un desempeño menos eficiente.

Es importante mencionar que no todos los equipos de usuario pueden soportar codificación turbo, es por esta razón que UTRAN aprende de la información de capacidades de cada equipo y por consiguiente conoce si un UE tiene soporte o no para códigos turbo y en base a ese criterio decide que tipo de codificación utilizar con cada equipo en particular.

La Tabla 3.1 describe los tipos de codificación utilizada en los diversos canales y la tasa que maneja cada uno de ellos.

**Tabla 3.1: Esquemas de Codificación de Canal utilizados en UTRAN**

Canal	Esquema de Codificación	Tasa de Código
BCH	Código Convolucional	1/2
PCH		
RACH		
CPCH, DCH, DSCH, FACH	Código Convolucional Código Turbo	1/2 ó 1/3 1/3
HS-DSCH	Código Turbo	1/3

La tasa de código indica la relación entre el número de bits de entrada y el número de

bits de salida de la función de codificación de canal. Tanto en la codificación convolucional como turbo la tasa es típicamente de  $1/2$  ó  $1/3$ .

En UTRAN la codificación de canal se combina con una función CRC de corrección de errores para formar un esquema de retransmisión híbrido H-ARQ. Esto significa que la codificación de canal apunta a corregir tantos errores como sea posible, y posteriormente la función de detección de errores, llevada a cabo por un codificador de bloques, verifica si el resultado es correcto y si la información resultante es lo suficientemente buena como para ser utilizada en las capas superiores. Los paquetes erróneos son detectados y señalados a las capas superiores para su retransmisión, y más específicamente la retransmisión de paquetes perdidos o corruptos es responsabilidad de la funcionalidad de la Capa RLC[20].

#### 3.6.4.2. Mediciones de Radio e Indicación a las Capas Superiores

Algunos tipos de mediciones se realizan específicamente o en el equipo de usuario o en el Nodo B, pero existen también otras mediciones que pueden realizarse en ambos lados de la red. Los resultados de las mediciones son reportados a las capas superiores.

Las mediciones de radio son típicamente controladas por la Capa RRC en el equipo de usuario. La Capa RRC recibe la información de control necesaria desde la UTRAN en los mensajes de control de medición y puede explícitamente solicitarle a la Capa Física que realice algún tipo de medición en particular, o puede en su defecto configurar ciertas condiciones, cuyo cumplimiento, desencadena los procedimientos de medición. Algunas mediciones son continuas y se realizan periódicamente cuando la capa Física se encuentra en un estado específico que amerita dichas mediciones.

Algunas de las mediciones realizadas por la Capa Física en el equipo de usuario son:

- Potencia de señal recibida
- Energía recibida por *chip* dividida por la densidad de potencia en la banda de frecuencia
- Tasa de error de bloque
- Potencia transmitida
- Tiempo de diferencia entre la transmisión y recepción

De manera análoga, las principales mediciones que lleva a cabo la Capa 1 en UTRAN son:

- Potencia total recibida en toda la banda
- Relación Señal a Interferencia
- Potencia de portadora transmitida
- BER

En realidad la lista de posibles mediciones es bastante larga, pero las más importantes y las que se realizan con más frecuencia son las mencionadas anteriormente.

El propósito de las mediciones es diferente dependiendo del estado en el cual se encuentre el equipo de usuario. Por ejemplo cuando el equipo de usuario se encuentra en modo suspendido el propósito de las mediciones es el de ayudar al equipo en el proceso de selección o re-selección de celda, es decir que las mediciones se utilizan para asegurar que el UE seleccione la mejor celda disponible. Este mismo objetivo también se busca en el modo conectado para asegurar la correcta elección de una celda en el procedimiento de re-selección; pero adicionalmente en este estado las mediciones también ayudan al mantenimiento de una óptima conexión de radio[20].

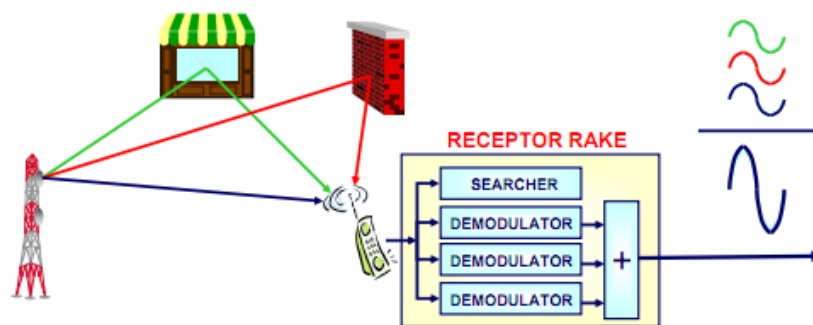
#### **3.6.4.3. Macrodiversidad**

La macrodiversidad es una situación en la cual el receptor recibe la misma señal desde diferentes fuentes. Esto sucede si un equipo de usuario recibe la misma transmisión desde varias estaciones base, y de la misma manera, un RNC puede combinar la misma señal enviada por el equipo de usuario y recibida por varias estaciones base.

Mientras más energía de la señal pueda coleccionar el receptor desde las transmisiones, mayor es la probabilidad de que pueda construir la señal original a partir de los componentes recibidos. El uso de este fenómeno es esencial en los sistemas UMTS WCDMA debido a que todas las estaciones base utilizan la misma frecuencia, en un factor de reutilización de frecuencias igual a 1, y un rápido control de potencia. Sin la utilización de la combinación de macrodiversidad, el nivel de interferencia del sistema puede incrementarse y la capacidad reducirse en un nivel considerable.

En el enlace de bajada el equipo de usuario puede recibir tantas componentes de macrodiversidad como ramas o sub-receptores posea su receptor *rake*, aumentándose el desempeño a medida que aumenta el número de ramas del receptor.

Un receptor *rake* es un receptor de telecomunicaciones diseñado para paliar los efectos de la dispersión multitrayecto en un enlace de comunicaciones móviles. Lo consigue con varios sub-receptores levemente retrasados para sincronizar las componentes individuales de la trayectoria multitrayecto. Cada componente se decodifica de forma independiente, pero en una última etapa del receptor se suman constructivamente con objeto de sacar el máximo provecho de cada camino. Normalmente conseguirá una mejora de la relación señal a ruido o relación energía de bit a ruido en un entorno en el que se reciben múltiples señales. La Figura 3.24 muestra el funcionamiento de un receptor *rake* para el soporte de macrodiversidad.



**Figura 3.24: Receptor *Rake***

En el enlace de subida los efectos de la macrodiversidad son más positivos a medida que aumenta el número de estaciones base que puedan recibir la señal enviada desde el equipo de usuario. Sin embargo hay que tomar en cuenta que el nivel de potencia de transmisión del equipo de usuario podría reducirse cuando se hace uso de la macrodiversidad. En caso de que el uso de macrodiversidad en el enlace de bajada incremente el nivel de interferencia es posible utilizar un control de potencia de transmisión con diversidad basada en la selección de un sitio específico, es decir que la macrodiversidad existe solamente en el enlace de subida y con la elección previa, por parte del UE, de una celda específica elegida dentro de un conjunto de celdas activas. La identificación de esta celda es indicada a la red, de tal manera que UTRAN envía las transmisiones del enlace de bajada solamente a través de dicha celda; consecuentemente muchos Nodos B participan en la recepción, pero solamente uno en la transmisión[20].

#### 3.6.4.4. Ajuste de la Tasa de Datos

El número de bits en un canal de transporte puede variar en cada intervalo de transmisión, sin embargo, las tramas de radio de un canal físico deben llenarse completamente para poder ser enviadas, esto significa que debe realizarse algún tipo de ajuste para que las dos tasas, la de los canales físicos y la de los canales de transporte, puedan coincidir.

En el enlace de subida la tasa total de bits en los canales de transporte debe coincidir con la tasa total de bits en el canal físico, y para realizar ese ajuste en las tasas se emplea un procedimiento o de repetición o de *puncturing* de bits. El procedimiento de *puncturing* consiste en que algunos bits son eliminados del flujo de salida de acuerdo a un esquema predefinido que permite identificar que bits pueden ser eliminados y que bits no.

Por lo general el procedimiento de *puncturing* se realiza después de la codificación de canal que puede haber añadido algunos bits de redundancia al código, por lo que el *puncturing* puede ser visto como una eliminación de algunos bits redundantes; sin embargo, este procedimiento podría empobrecer el resultado de la codificación y por ese motivo existen límites en cuanto al número de bits que pueden ser descartados.

En el enlace de bajada la red puede interrumpir la transmisión si el número de bits a ser enviado es menor que el máximo permitido, cuando esto sucede se habla de un modo de transmisión discontinuo y se lo activa para reducir la interferencia total en el camino de radio. El ajuste de la tasa de transmisiones es necesario en el enlace de bajada para determinar cuantos bits se necesitan para continuar con una transmisión discontinua, y este procedimiento se realiza calculando la tasa pico de datos que se puede manejar y comparándola con la tasas de datos ofrecida[20].

#### 3.6.4.5. *Spreading* o Ensanchamiento de Canales Físicos

El término *spreading* (extendido) significa aumentar el ancho de banda más allá del ancho de banda requerido por una señal para acomodar la información.

CDMA y por consiguiente WCDMA para UMTS utiliza códigos de ensanchamiento únicos para lograr extender el ancho de banda de los datos en banda base antes de la transmisión. La señal es transmitida en un canal con un nivel bajo de ruido, y en el receptor se utiliza el mismo código para recuperar la señal original la cual pasa por un filtro pasa banda. Las señales no deseadas que se encuentran fuera no serán recuperadas

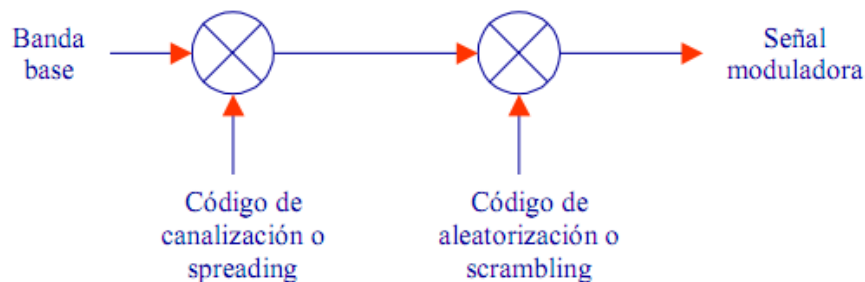
debido a que no pasarán el filtro pasa banda.

Los códigos de ensanchamiento tienen la forma de una secuencia de unos y ceros diseñada cuidadosamente de tal manera que la velocidad de estos códigos es mucho mayor (por lo menos el doble) que la velocidad de los datos en banda base. La velocidad de un código de extendido es llamada velocidad de chip en lugar de velocidad de bit.

Las ventajas de una señal de espectro extendido sobre otra en banda base son la seguridad, la resistencia a la interceptación, resistencia al desvanecimiento multirruta y su capacidad de soportar técnicas de acceso múltiple.

El proceso de extendido consiste de dos operaciones para UTRAN, la canalización y el *scrambling*, y se utilizan dos familias de códigos de ensanchamiento los cuales tienen diferentes propiedades: los códigos ortogonales y los códigos de pseudo ruido. La utilización de los códigos de ensanchamiento puede ser diferente en los enlaces de subida y de bajada[19].

La Figura 3.25 ilustra el procedimiento de ensanchamiento y aleatorización del espectro por medio de los códigos de canalización y *scrambling*.



**Figura 3.25: Ensanchamiento y Aleatorización de la Señal**

La canalización transforma cada símbolo de datos en varios *chips*. La relación entre el número de *chips* y el número de símbolos se denomina factor de ensanchamiento. Los símbolos de datos son multiplexados por medio de un código de canalización, que es un código ortogonal, lo que quiere decir que en condiciones ideales los códigos de canalización no presentan interferencia entre sí.

Sin embargo, la ortogonalidad solamente puede asegurarse si los códigos con sincronizados en tiempo, y consecuentemente pueden ser utilizados en el enlace de bajada para usuarios diferentes y separados en una misma celda, y en el enlace de subida solamente en canales físicos separados pertenecientes a un usuario; quedando claro que no pueden ser



utilizados por las estaciones base para diferentes usuarios separados debido a que todos los móviles no están sincronizados en tiempo y por consiguiente sus códigos no pueden ser ortogonales.

Después de la canalización, en el procedimiento de *scrambling* la señal es multiplicada por un código de *scrambling* que es un código con buenas propiedades de autocorrelación. En el enlace de subida, diferentes usuarios tienen diferentes *offsets* de longitud de código, y la red puede reconocerlos a partir de sus *offsets*.

En el enlace de bajada los códigos de *scrambling* de pseudo ruido son utilizados para reducir la interferencia entre estaciones base. Cada Nodo B tiene solamente un único código primario de *scrambling* y este es utilizado para separar varias estaciones base entre sí[20].

### **Técnicas de Modulación de Espectro Extendido**

La información puede ser modulada en una señal de espectro extendido por muchos métodos. Esta modulación puede ser de fase o de frecuencia, o una combinación de estos dos esquemas. Cuando el extendido del espectro se realiza por una modulación de fase, se le llama señal de espectro extendido de secuencia directa, mientras que cuando el extendido del espectro se obtiene por un cambio rápido en la frecuencia de la portadora se le llama señal de espectro extendido por salto de frecuencia. Otra forma de obtener una señal de espectro extendido es mediante el salto en el tiempo, en este caso, el tiempo de transmisión es dividido en intervalos llamados tramas. Cada trama es dividida después en ranuras de tiempo.

En la red de acceso de radio de UMTS se utiliza la técnica de DS-CDMA, es decir CDMA de secuencia directa que obviamente utiliza una modulación de espectro extendido por secuencia directa.

En DS-CDMA la señal original es multiplicada directamente por un código de ensanchamiento con una tasa mucho más alta que la de los datos. La señal resultante entonces modula la portadora digital de banda base en una señal codificada con una tasa de *chip* que debe ser mucho mayor que la tasa de bits de la señal de información original. El receptor recupera el ancho de banda inicial de la señal utilizando el mismo código del transmisor, y es importante que sea capaz de sincronizar la señal recibida con el código generado localmente porque de otra manera la señal original no podría ser recuperada. La

Figura 3.26 muestra el procedimiento de modulación y demodulación de espectro extendido por secuencia directa[20].

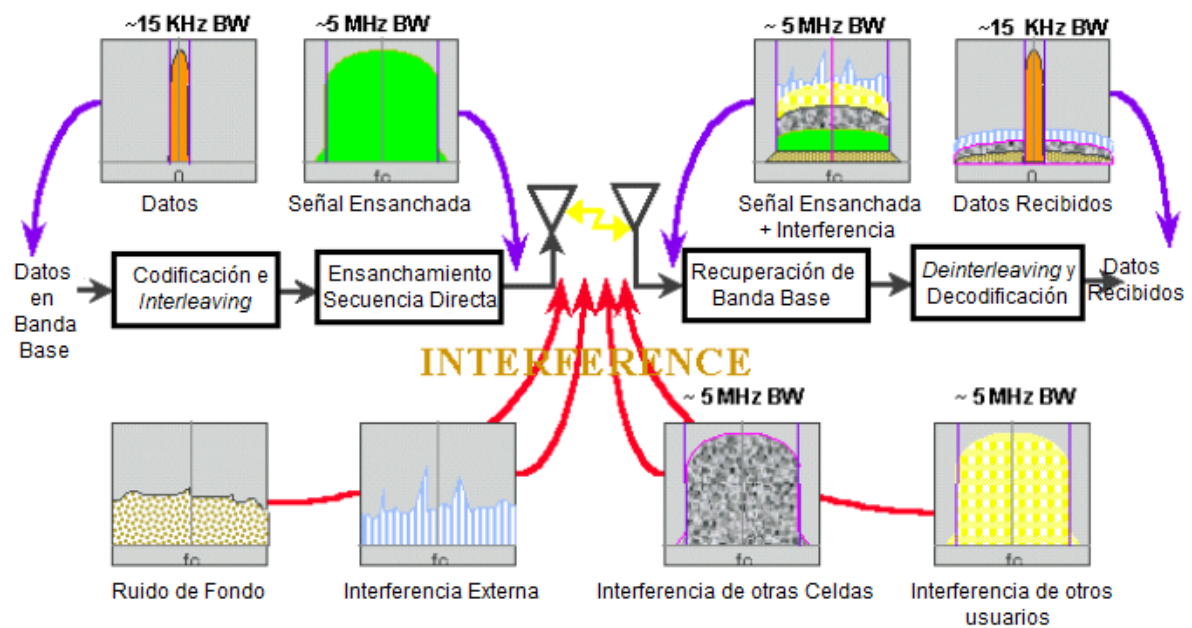


Figura 3.26: Modulación de Espectro Extendido por Secuencia Directa

#### 3.6.4.6. Modulación

La modulación es un proceso en el cual los símbolos transmitidos son multiplicados con una señal portadora formando símbolos de modulación que son conocidos como *chips*.

Un esquema de modulación de datos define como los bits son combinados con la señal portadora, la cual siempre es una señal senoidal. Al estar hablando de una tercera generación de telefonía celular, resulta evidente que las técnicas de modulación utilizadas deben ser digitales también. Es por ello que dentro de una gama de posibilidades de técnicas, el esquema de modulación digital utilizado en UMTS es QPSK.

Como acaba de mencionarse, la interfaz de aire UTRAN utiliza una modulación QPSK, aunque en la evolución de UMTS publicada en el *Release 5* y conocida como HSDPA puede utilizarse también una modulación 16QAM en el canal físico DSCH de alta velocidad, pero debido a las altas velocidades que se manejan en este tipo de enlaces con modulación 16QAM se requiere de un enlace de radio de muy buenas condiciones para que el sistema funcione bien.

La tasa de modulación QPSK que se maneja es de 3.84 Mcps, aunque originalmente

se pensó en manejar una tasa de *chip* de 4.096, pero posteriormente fue modificada. Un símbolo QPSK puede transportar dos bits de datos mientras que un símbolo 16QAM contiene cuatro bits por símbolo. En consecuencia, un sistema con modulación QPSK con una tasa de 3.84 Mcps puede teóricamente transferir 7.68 Mbps y un sistema 16QAM puede transferir hasta 15.36 Mbps.

La Figura 3.27 muestra las constelaciones de los esquemas de modulación digital utilizadas en la interfaz aérea de UTRAN[20].

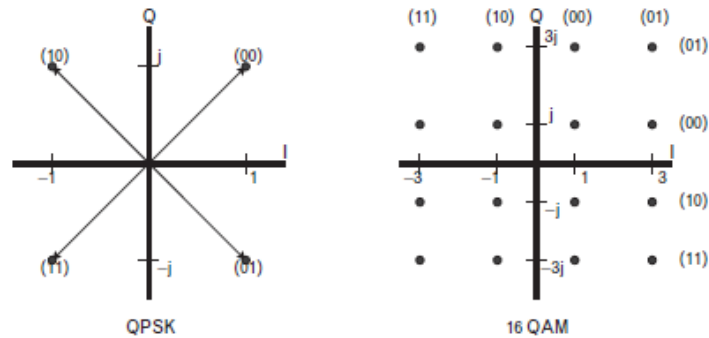


Figura 3.27: Esquemas de Modulación utilizados en UTRAN

#### 3.6.4.7. Control de Potencia

La relación señal a interferencia presenta considerables fluctuaciones causadas por las variantes condiciones de propagación cuando el móvil se desplaza a través del área de servicio. En particular, en entornos en los que existen desvanecimientos *Rayleigh* el fenómeno es mucho más importante.

Por otra parte, en el enlace de subida, existen grandes diferencias en las ganancias de los enlaces correspondientes a los distintos móviles. Si todos ellos usaran la misma potencia de transmisión, las señales de aquellos que se encuentran más cerca de la estación base enmascararían las de los más alejados, este fenómeno se denomina *near-far*. La Figura 3.28 ilustra este efecto en un ejemplo con dos equipos de usuario.

La capacidad de un sistema WCDMA en el enlace ascendente se maximiza si todos los usuarios llegan a la estación base con el mismo nivel del potencia y es por esta razón que es muy importante combatir el efecto *near-far*. Para combatir el efecto *near-far* se utiliza un control de potencia que permita controlar los niveles con los que se transmite, de tal manera que cada equipo incremente o disminuya su potencia de transmisión en función de varios parámetros como la atenuación y la distancia a la que se encuentra de la



Figura 3.28: Efecto *Near-Far*

estación base a la cual está conectado. Este control de potencia se realiza con el objetivo de que la estación base reciba el mismo nivel de señal en todas las transmisiones que se le envían. Por ejemplo, en el caso de la Figura 3.28 el Equipo del Usuario B se encuentra más próximo a la estación base y la atenuación existente entre este equipo y el Nodo B es menor que la que experimenta el Equipo A, por lo que B deberá transmitir con una potencia menor que A para que ambas señales lleguen a la estación base con el mismo nivel de potencia; obviamente la potencia de transmisión de A debe ser mayor dado que se encuentra más lejos y porque la atenuación en su trayecto es mayor[26].

En general, el control de potencia utilizado en UTRAN es de dos tipos: de lazo abierto y de lazo cerrado. La diferencia básica entre estos métodos es que el control de lazo cerrado está basado en comandos explícitos de control de potencia recibidos desde la entidad par, mientras que en el control de lazo abierto la entidad transmisora estima por sí misma el nivel de potencia requerido a partir de la señal recibida[20].

### Control de Potencia de Lazo Abierto

El control de potencia de lazo abierto no requiere realimentación, es decir que el receptor no informa al transmisor del nivel de calidad con el que está recibiendo la señal. Este tipo de control de potencia por lo general se utiliza cuando el tamaño de los mensajes a transmitir es pequeño, y por tanto no le da tiempo al receptor para realizar mediciones de calidad.

El terminal de usuario realiza una estimación del nivel de la señal, ya que conoce la potencia transmitida por el canal piloto y puede medir la potencia de la señal recibida desde la estación base, y en concordancia con esta información estima la atenuación del trayecto y ajusta el nivel de potencia de transmisión de manera inversamente proporcional a la potencia recibida; es decir que mientras menor sea la potencia de la señal recibida

mayor será la potencia con la que transmite. En otras palabras este control de potencia se utiliza para estimar el valor inicial de la potencia de transmisión[26].

### **Control de Potencia de Lazo Cerrado**

El control de potencia de lazo cerrado puede ser dividido también en dos procesos: control de lazo cerrado interno y control de lazo cerrado externo. El control de potencia de lazo externo configura o establece un valor objetivo para la relación señal a interferencia a utilizarse en el control de lazo interno y se encarga también de ajustar dicho valor; y el control de lazo interno en la Capa 1 ajusta la potencia transmitida de la entidad par, de tal manera que el valor medido de la relación señal a interferencia cumpla con el requerimiento objetivo de dicha relación. Es decir que la estación base mide la potencia recibida y por un canal de bajada envía comandos que hacen incrementar o decrementar la potencia que transmite el móvil en pasos discretos.

El ajuste se realiza por medio de los comandos de control de potencia. La entidad receptora, que puede ser la Capa 1 del equipo de usuario o del Nodo B, mide la relación señal a interferencia y la compara con el valor objetivo. Si es mayor envía un comando de control de potencia a su entidad par indicándole que se debe reducir la potencia de transmisión. Por el contrario si el nivel de la relación señal a interferencia medida es menor que el objetivo se envía un comando indicando que la potencia de transmisión debe incrementarse. Estos comandos de control son transmitidos a la entidad par correspondiente en cada ranura de tiempo, y no existe un comando neutral, es decir que cada comando siempre indica o el incremento o el decremento de la potencia transmitida.

Debido a que existen 1500 ranuras de tiempo en un segundo, y un comando es enviado en cada una de ellas, la frecuencia del control de potencia de lazo cerrado interno es de 1500 Hz, cosa que lo convierte en un método muy rápido para el ajuste de la potencia de transmisión, método que se conoce también como control rápido de potencia.

Este mecanismo de lazo cerrado interno es llevado a cabo enteramente en la Capa Física y sus principios básicos son similares tanto en el equipo de usuario como en UTRAN. Por su parte, el mecanismo de lazo cerrado externo es en realidad manejado por la Subcapa RRC en el nivel 3[20].

### 3.6.5. Asignación del Espectro y Reutilización de Frecuencias

#### 3.6.5.1. Asignación del Espectro

El total de ancho de banda para 3G está dividido entre los modos FDD y TDD. La banda pareada está asignada para el modo FDD y la banda no pareada que es más pequeña está asignada para el modo TDD. Para la asignación del espectro designada por la ITU se definen tres regiones para el modo FDD y una sola para TDD. La Región 1 incluye a África, Europa y el norte de Asia; la Región 2 incluye a Norte y Sur América, por lo que es la región de interés para Ecuador; y finalmente, la Región 3 incluye el sur de Asia y Australia.

Las bandas de frecuencia asignadas para cada región se muestran a continuación en la Tabla 3.2.

**Tabla 3.2: Asignación de Bandas de Frecuencia para UMTS**

Región	Modo	Frecuencias (MHz)		Total (MHz)
		<i>Uplink</i>	<i>Downlink</i>	
1	FDD	1920 - 1980	2110 - 2170	60 + 60 = 120
2		1850 - 1910	1930 - 1990	60 + 60 = 120
3		1710 - 1785	1805 - 1880	75 + 75 = 150
-	TDD	1900 - 1920 2010 - 2025		20 + 15 = 35

Nótese que en el modo TDD las mismas portadoras de frecuencia son utilizadas tanto en el enlace de subida como en el de bajada.

Es importante mencionar que las bandas descritas son tomadas de las especificaciones y recomendaciones, pero cada país puede definir sus propias bandas de frecuencia para 3G.

El espaciamiento nominal entre canales es de 5 MHz, por lo que en las bandas pareadas, con un ancho de banda de 60 MHz en cada una, se dispone de un total de 12 portadoras para cada enlace; mientras que en las bandas no pareadas utilizadas para TDD al disponerse de un ancho de banda total de 35 MHz se puede contar con un total de 7 portadoras. En las bandas pareadas del modo FDD generalmente a los operadores se les asigna 2 x 15 MHz de espectro, lo que les proporciona 3 portadoras de frecuencia para utilizar, a diferencia de las bandas no pareadas en las cuales se les asigna solamente 5 MHz de espectro correspondiente a un solo canal[20][26].

### 3.6.5.2. Reutilización de Frecuencias

En CDMA todos los usuarios pertenecientes a la red comparten el mismo espectro de frecuencia simultáneamente, es decir que todas las celdas del sistema utilizan la misma frecuencia, y las diferentes comunicaciones están separadas por códigos en lugar de frecuencias. La utilización de una modulación de espectro ensanchado aumenta la tolerancia a la interferencia y hace posible una reutilización total de frecuencia con un índice de reutilización igual a 1.

La Figura 3.29 muestra el concepto de la reutilización total de frecuencias que se realiza en CDMA y por consiguiente en UMTS. En esa ilustración todas las celdas utilizan la misma frecuencia A en sus comunicaciones.

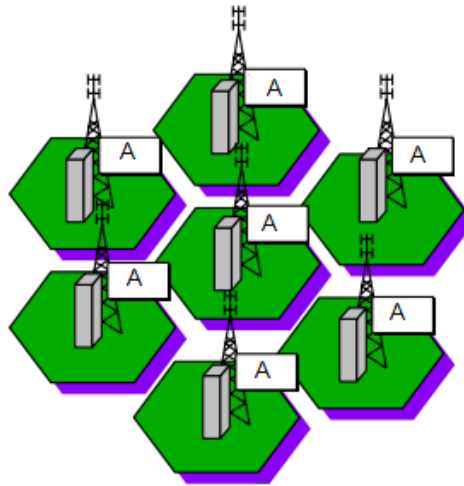


Figura 3.29: Reutilización de Frecuencias en WCDMA para UMTS

### 3.6.6. Diversidad

La diversidad es un concepto que se utiliza de diferentes maneras en UTRAN. Una señal puede estar sujeta a diversidad en tiempo, diversidad multitrayecto, y diversidad de antenas; y a su vez estas clases de diversidad contienen algunas subclases.

Las formas de diversidad que se hacen presentes en el modo FDD son la diversidad en tiempo, la diversidad multitrayecto, la macrodiversidad y la diversidad de antenas. Aunque parezca contradictorio, el fenómeno de la diversidad es a menudo una propiedad deseado en los sistemas WCDMA, y algunas formas de esta pueden ser generadas artificialmente en la señal.

A continuación se explicará cada uno de los tipos de diversidad mencionados anteriormente a excepción de la macrodiversidad que ya fue desarrollada anteriormente en la sección de funciones de la Capa Física[20].

### 3.6.6.1. Diversidad en Tiempo

La diversidad en tiempo significa que la señal es ensanchada en el dominio del tiempo. Si existe un periodo corto de tiempo en el cual las señales interfieren unas con otras, y esa interferencia distorsiona parte de la señal, la diversidad en tiempo puede ayudar a reconstruir la señal en el receptor recuperándola de los errores. Los métodos que se utilizan para llevar a cabo la diversidad en tiempo son la codificación de canal, el *interleaving*, y los protocolos de retransmisión.

La diversidad en tiempo ensancha o extiende los bits defectuosos sobre un largo periodo de tiempo, y por consiguiente hace más fácil la reconstrucción de los datos originales. Si se tienen 4 bits erróneos sucesivos en un byte, es muy difícil recuperar los datos originales; sin embargo, si estos 4 bits desde la interfaz de radio son expandidos sobre 4 bytes por medio de un proceso de *interleaving*, se vuelve mucho más fácil la recuperación de los datos por medio de una codificación de corrección de errores, por ejemplo. La Figura 3.30 muestra la forma en que un procedimiento de *interleaving* ensancha los bits erróneos para generar diversidad en tiempo.

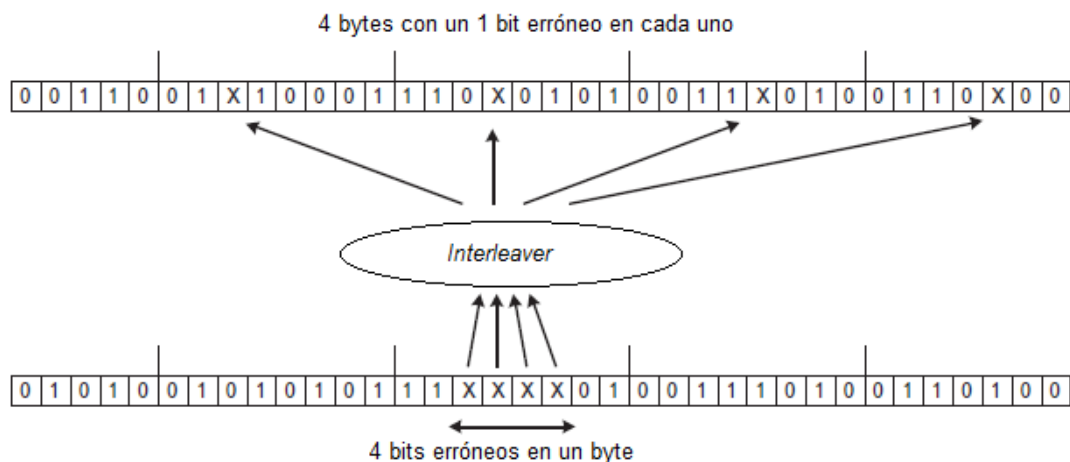


Figura 3.30: Diversidad en Tiempo

Mientras más largo sea el periodo de *interleaving*, mejor resulta ser la protección proporcionada por la diversidad de tiempo. Sin embargo un *interleaving* más largo incrementa los retardos de transmisión y por consiguiente es necesario encontrar un balance entre las



capacidades de resistencia a los errores y el retardo introducido[20].

### 3.6.6.2. Diversidad Multitrayecto

La diversidad multitrayecto es un fenómeno que sucede cuando una señal llega al receptor por medio de diferentes trayectos a causa de las reflexiones. Esto sucede cuando se utiliza solamente un transmisor, pero a causa de varios obstáculos en el trayecto de la señal, esta se separa ocasionando que diferentes versiones de la señal lleguen al receptor desde diferentes direcciones y posiblemente en diferentes tiempos.

En sistemas de segunda generación como GSM, la existencia de una acentuada diversidad multitrayecto ocasiona problemas, ya que los receptores GSM no son capaces de combinar diferentes componentes y típicamente tienen que utilizar solamente la componente recibida con mayor intensidad. Los sistemas WCDMA el receptor es generalmente capaz de seguir y recibir varias componentes multitrayecto para combinarlas y formar una señal compuesta por todas esas componentes. El receptor utilizado es generalmente de tipo *Rake*, un tipo de receptor que responde bastante bien en este tipo de escenarios, lo cual es muy importante ya que mientras más energía pueda recolectarse de entre todas las componentes, mejor será la estimación de la señal.

La forma en que opera un receptor *Rake* para coleccionar múltiples señales multitrayecto y el concepto de macrodiversidad fueron explicados anteriormente de manera detallada, por lo que no se abordará más sobre esos temas en la presente sección[20].

### 3.6.6.3. Diversidad de Antenas

La diversidad de antenas significa que la misma señal es transmitida y/o recibida por medio de más de una antena en la misma estación base. La diversidad de antenas puede ser aplicada también algunas veces al equipo de usuario, dependiendo del tipo de equipo que se utilice y de las capacidades que posea.

Las diversidades de antenas en transmisión y recepción no son iguales por lo que se tratarán de manera separada y solamente considerando una diversidad de transmisión y recepción en estaciones base que es en donde se utiliza realmente, ya que la diversidad en equipos de usuario no se aplica debido al incremento que generaría tanto en el costo del equipo móvil como en el tamaño del mismo[20].

## Diversidad en Transmisión

La diversidad de antenas transmisoras puede ser utilizada para generar diversidad multitrayecto en lugares en los cuales de otra manera no existiría. La diversidad multitrayecto es un fenómeno que puede ser muy útil especialmente cuando se lo genera de manera controlada. La diversidad multitrayecto puede proteger al equipo de usuario en contra del desvanecimiento y está diseñada para su utilización en el enlace de bajada, ya que la diversidad en el transmisor requiere de dos antenas y eso resultaría en una solución demasiado cara para el equipo de usuario.

Las especificaciones de UTRA dividen los modos de diversidad de transmisión en dos categorías que son el modo de lazo abierto y el modo de lazo cerrado. En el modo de lazo abierto no se envía información de retroalimentación desde el equipo de usuario hacia el Nodo B, y por consiguiente la red UTRAN tiene que determinar por sí misma los parámetros apropiados para la diversidad en sus transmisiones. Por el contrario, en el modo de lazo cerrado, el equipo de usuario envía información de retroalimentación hacia el Nodo B con el objetivo de optimizar las transmisiones en las cuales se utiliza la diversidad de antenas.

Es bastante común que el modo de lazo abierto sea utilizado por los canales comunes, debido a que por lo general ellos no proporcionan un canal de retorno sobre el enlace de subida para el envío de información de retroalimentación. Incluso si existiese un canal de retroalimentación, el Nodo B no puede realmente optimizar las transmisiones de su canal común a partir de las mediciones realizadas por el equipo de usuario en particular, esto se debe a que al ser los canales comunes para varios usuarios, lo que puede ser bueno para uno puede ser malo para otro y viceversa.

En lazo abierto, existen dos métodos de transmisión en diversidad: el modo STTD y el modo TSTD.

En el modo STTD los datos a ser enviados son divididos entre las dos antenas de transmisión en la estación base y transmitidos de manera simultánea. Los datos que ya han pasado por la codificación de canal son procesados en bloques de cuatro bits, los cuales son conjugados para pasar a la segunda antena.

STTD proporciona en realidad dos clases de diversidad. La separación física de las antenas genera una diversidad espacial, y la diferencia en tiempo derivada del procedimiento

de conjugación de bits proporciona una diversidad en tiempo. Estas dos características combinadas hacen que el proceso de decodificación en el receptor sea más confiable.

Además de las señales de datos, las señales piloto son también transmitidas por medio de las dos antenas. El piloto normal es enviado a través de la primera antena y el piloto de diversidad a través de la segunda antena. Las dos secuencias piloto son ortogonales entre sí, por lo que por medio de ellas el receptor puede extraer la información de fase de ambas antenas.

El modo TSTD puede ser aplicado al canal de sincronización. El principio de TSTD es el de transmitir el canal de sincronización por medio de las dos antenas disponibles en la estación base. El procedimiento consiste en transmitir el canal SCH en las ranuras de tiempo pares por medio de la primera antena, y en las ranuras impares por medio de la segunda antena.

El modo de lazo cerrado es utilizado para los canales físicos dedicados debido a que estos canales sí poseen un retorno en el enlace de subida para el envío de información de retroalimentación por medio de la cual se envían comandos de ajuste para la diversidad del transmisor. Estos comandos permiten ajustar tanto la amplitud como la fase de la transmisión[20].

### **Diversidad en Recepción**

La diversidad de antenas en recepción es mayormente utilizada en la dirección del enlace de subida, es decir cuando la estación base es el receptor.

El propósito de varios esquemas de diversidad es el de ayudarle al receptor a coleccionar más energía de la señal que se encuentra sobre el enlace de bajada, pero si un esquema de diversidad en particular ya ha tenido éxito en recolectar una cantidad suficiente de energía de la señal, no hay mucho que los demás esquemas de diversidad puedan hacer para incrementar la ganancia.

Es por esta razón que la diversidad en recepción debería implementarse casi exclusivamente en la estación base debido a que la capacidad del enlace de subida en una celda UTRAN es limitada y por consiguiente la diversidad en recepción en la estación base puede incrementar la capacidad total de sistema y el rango de cobertura de las celdas.

Existen dos posibilidades para generar diversidad de antenas en el receptor, la una es

la diversidad espacial y la otra la diversidad de polarización. En la diversidad espacial las antenas receptoras se encuentran físicamente separadas, y este tipo de diversidad es una solución adecuada para grandes estaciones base que cubran amplias áreas exteriores.

En la diversidad de polarización las antenas no necesitan estar físicamente separadas, y este tipo de diversidad se convierte en una solución viable para estaciones base pequeñas ubicadas en interiores o incluso para estaciones móviles.

En ambos casos la diversidad en recepción protege al receptor de desvanecimientos e interferencias, debido a que los desvanecimientos usualmente no se correlacionan entre la diversidad de antenas. Por supuesto que esto no puede garantizarse en todos los casos, pero teniendo dos receptores incluso bajo los efectos del desvanecimiento se puede obtener una mayor ganancia ya que dos receptores pueden recolectar mayor energía de la señal que uno solo.

En la presente sección se ha hablado de una diversidad creada por la utilización de dos antenas en el transmisor y/o dos antenas en el receptor. Sin embargo existe una manera muy interesante de generar diversidad espacial por medio de la utilización de múltiples antenas transmisoras y receptoras, conocida como MIMO. Este mecanismo de múltiples antenas está siendo ampliamente utilizado en sistemas de comunicación inalámbricos de última generación como MBWA, pero su soporte no está todavía definido en UMTS, ni siquiera en sus evoluciones posteriores como HSDPA definido en el *Release 5* de la tecnología[20].

### **3.7. Características Adicionales de UMTS**

#### **3.7.1. Calidad de Servicio**

La gestión de QoS en las redes de tercera generación está formada básicamente por dos áreas funcionales: el área de aprovisionamiento de políticas de QoS y el área de monitorización de QoS.

El aprovisionamiento de políticas de calidad de servicio es el proceso de configurar y mantener elementos de red seleccionados con políticas de QoS que son creadas basándose en suscripciones del usuario y en observaciones del desempeño de la red.

En redes 3G, múltiples redes deben trabajar en conjunto para proporcionar la calidad

de servicio extremo a extremo requerida por las aplicaciones del usuario final. Adicionalmente, existen muchas clases de elementos de red provenientes de muchos proveedores de infraestructura de red que requieren de una configuración coherente para cumplir con los objetivos de QoS del operador.

La monitorización es el proceso por medio del cual se recolectan estadísticas y alarmas del rendimiento de la gestión de calidades de servicio. Estos datos recolectados son utilizados para generar reportes cuyo análisis permite hacer cambios o mejoras a la red[20].

### 3.7.1.1. Clases de QoS

Lo que hace a UMTS muy diferente de GSM y de otros sistemas de segunda generación es la habilidad del equipo de usuario para negociar parámetros de QoS para una portadora de radio. Dicho procedimiento de negociación es siempre iniciado por una aplicación en el equipo de usuario que envía una petición a la red definiendo los recursos que necesita. La red verifica si es posible proporcionar esos recursos solicitados y le responde al UE de tres maneras diferentes: asignándole los recursos solicitados, ofreciéndole un conjunto disminuido de recursos, o definitivamente negándole la petición por completo.

Una vez que ha recibido su respuesta, el UE puede aceptar o rechazar la oferta que la red le hace. También es posible realizar una renegociación de los parámetros de QoS mientras una conexión se encuentra activa si los requerimientos de la aplicación o el estado de los recursos de la red cambian. En el primer caso la renegociación es iniciado por el UE y en el segundo caso por la red. En UMTS los requerimientos de QoS pueden ser divididos en cuatro clases:

- Servicios conversacionales en tiempo real
- Servicios interactivos
- Servicios de *streaming* o flujo
- Servicios de segundo plano[20].

A continuación se realizará una descripción de cada una de las clases de servicio que se manejan en UMTS.

#### Servicios Conversacionales en Tiempo Real

El tráfico en esta clase conversacional es bidireccional y más o menos simétrico. Ejemplos de aplicaciones que pertenecen a esta clase incluyen voz, video llamadas, y juegos interactivos.

La clase de servicio conversacional en tiempo real es la que representa un mayor desafío técnicamente hablando, puesto que los servicios en esta clase al ser conversacionales solamente aceptan un retardo muy reducido, en el orden de unos pocos cientos de milisegundos, y la variación en dicho retardo debe ser insignificante y mantenerse relativamente constante.

El requerimiento de un retardo corto implica que los procedimientos de retransmisión ARQ no pueden ser utilizados para corregir los errores en la transmisión, y en lugar de este mecanismo se utilizan códigos de corrección de errores FEC que permitan remover en el receptor los errores que puedan producirse. Dado que la variación en el retardo debe mantenerse también imperceptible durante toda la transmisión no es posible la utilización de *buffers* de almacenamiento en el receptor.

Si los datos transmitidos contienen información de audio o video entonces algunos errores son aceptables en el extremo de la recepción, ya que estos no representan una pérdida notable de QoS en los servicios en tiempo real. Un usuario humano no puede percibir pequeños errores que puedan producirse en la información de voz o video, pero sí es muy sensible a los retardos excesivos en los servicios de voz, y es por esta razón que la principal prioridad es mantener los retardos constantes y lo más reducidos posible.

En cambio la transferencia de otros tipos de datos hacen la situación más complicada, ya que cualquier error en la información recibida puede posiblemente ocasionar problemas en la aplicación que se encuentra utilizando dichos datos, y es necesario que en estos casos la calidad de servicio reciba un tratamiento diferente[20].

### **Servicios Interactivos**

La clase interactiva incluye servicios en los cuales un usuario hace una petición de datos a un servidor remoto, y recibe en respuesta los datos solicitados. Ejemplos de este tipo de servicios son la navegación web, las compras electrónica o *e-shopping* y las consultas a una base de datos.

La diferencia entre las clases conversacional e interactiva es que el tráfico de datos en la primera es simétrico o casi simétrico, mientras que en la segunda clase el tráfico es altamente asimétrico debido a que una dirección es utilizada para el envío de la carga útil

de datos y la otra dirección es utilizada generalmente solo para el envío de los comandos de control que incluyen las peticiones y los acuses de recibo.

A diferencia de lo que ocurre en los servicios conversacionales en los servicios interactivos los requerimientos de tiempo no son tan estrictos. Mientras que los servicios conversacionales permiten retardos máximos en el orden de unos pocos cientos de milisegundos, los interactivos pueden en algunos casos tolerar hasta unos pocos segundos de retardo, siendo por lo general el límite máximo de retardo de aproximadamente 4 segundos.

Los servicios interactivos no toleran más errores en transmisión de los que son tolerados en los servicios conversacionales, sin embargo, esta meta de minimizar los errores es mucho más fácil de conseguir en este caso, ya que los requerimientos menos estrictos de disminución de retardo hacen posible la aplicación de métodos más eficientes para la corrección de errores en la transmisión de datos.

La variación en los retardos no es realmente un problema con los servicios interactivos debido a que los datos son casi siempre presentados al usuario solamente después de que toda la información ha sido recibida. Si una aplicación es sensible a las variaciones del retardo lo que se hace es almacenar la información en un *buffer* en el receptor, siempre y cuando el retardo máximo que se obtenga se mantenga por debajo del umbral especificado.

Los servicios interactivos pueden muchas veces cambiar de clase y convertirse o en servicios conversacionales o en servicios de *streaming* que serán descritos más adelante. Puede producirse el caso en el cual una aplicación específica requiere de la transferencia de una cantidad considerable de datos sobre el enlace de subida, y dado que se asume que la mayor cantidad de tráfico en los servicios interactivos ocurre en solamente el enlace de bajada, al observar un tráfico que se vuelve casi simétrico se puede considerar que el servicio pertenece más bien en ese caso a uno de clase conversacional. Por el contrario, si se observa que el servicio interactivo tiene muy pocas acciones de transferencia sobre el enlace de subida, menos de lo que es habitual, puede considerarse que ya no es de tipo interactivo sino más bien que es un servicio de *streaming*[20].

### **Servicios de *Streaming***

Esta clase de servicios incluye principalmente aplicaciones de audio y video dirigidas a usuarios humanos. La diferencia entre las clases conversacionales y de *streaming* puede explicarse analizando la diferencia que existe entre hablar por medio de una conversación

telefónica y escuchar música desde internet; siendo la llamada telefónica un servicio conversacional y la reproducción musical un servicio de *streaming*.

Lo que hace que la clase de *streaming* sea diferente de la interactiva es que la transferencia de datos en *streaming* es casi totalmente continua y en un solo sentido, es decir que es totalmente asimétrica. En esta clase no es necesario que se haya recibido toda la información para que esta pueda ser presentada al usuario, sino que se va mostrando a medida que se va recibiendo.

Existen algunos requerimientos estrictos para la variación del retardo de los datos que son presentados al usuario, por ejemplo si se trata de un servicio multimedia, no puede existir ningún tipo de desfasamiento entre los componentes multimedia de la transmisión. A pesar de esto los requerimientos para el retardo máximo son más bien un poco permisivos ya que el valor aceptado puede ser de hasta 10 segundos en algunos casos.

En las transmisiones los paquetes de datos que son recibidos se almacenan en un *buffer* y son liberados a una tasa constante. Por lo general la utilización de este *buffer* permite fijar las variaciones de retardo en un valor máximo equivalente al tamaño del mismo.

La manera más fácil de prevenir un desfasamiento en los componentes multimedia es multiplexándolos en un solo flujo de transmisión, con esto se asegura que no exista ninguna variación de retardo entre los componentes de dicha presentación multimedia. De esta manera la transmisión de medios puede introducir variaciones de retardo entre los paquetes individuales, pero esto puede solucionarse con la utilización del *buffer* de recepción citado anteriormente.

Si la aplicación de *streaming* es de audio y/o video pueden permitirse algunos errores en los datos finales que son presentados al usuario, sin embargo si se trata de otro tipo de aplicación la posibilidad de permitir errores es mucho más reducida.

Lo que hace que esta clase sea muy atractiva para los sistemas 3G es la posibilidad de que puedan ofrecer servicios de clase *streaming* por medio de redes de conmutación de paquetes. Las principales aplicaciones de este tipo en redes de tercera generación son las de video y audio bajo demanda[20].

### **Servicios de Segundo Plano**

La clase de segundo plano está formada por aquellos servicios que no tiene requerim-



ientos de retardo definidos, es decir que las aplicaciones generalmente esperan recibir los datos dentro de un límite de tiempo definido que puede ser elevado. A pesar de que no existen requerimientos de retardo es posible la utilización de temporizadores que sirven solamente para asegurar que la transferencia de datos no se encuentra estancada. Las aplicaciones más comunes que hacen uso de los servicios de segundo plano son el envío de correos electrónicos y mensajes cortos de texto.

La razón por la que estos servicios son manejados como actividades de segundo plano es precisamente el hecho de que no poseen requerimientos de retardo. Al igual que en las clases anteriores la recepción de datos debe estar libre de errores, cosa que es bastante fácil de conseguir en este caso ya que al no tener restricciones en los tiempos es posible la utilización de un esquema de retransmisión de datos para la recuperación de datos erróneos.

Las variaciones de retardo tampoco son consideradas en los servicios de segundo plano puesto que los datos son presentados al usuario una vez que han sido recibidos completa y correctamente.

La transferencia de datos en la clase de segundo plano también es muy asimétrica y el ancho de banda requerido para sus transmisiones es reducido, esto se debe a que al tener sus servicios un carácter de segundo plano es posible que la transferencia de información sea realizada sobre una conexión lenta sin ningún problema[20].

**Tabla 3.3: Clases de QoS y sus Aplicaciones**

Clase de QoS	Retardo	Buffer	Tipo de Tráfico	Aplicaciones
Conversacional	Fijo Mínimo Tiempo Real	No	Simétrico y Bidireccional	Voz (TE) Video llamada (TE) Juegos interactivos (IE)
Streaming	Constante No mínimo Tiempo Real	Si	Asimétrico y Unidireccional	Audio y Video (TE) Transferencia de datos FTP (IE)
Interactivo	Variable Moderado T. no real	Si	Asimétrico y Bidireccional	Mensajes de voz (TE) Navegación Web (IE)
Segundo Plano	Variable Grande T. no real	Si	Asimétrico y Bidireccional	Fax (TE) Envío de E-mail (IE)

La Tabla 3.3 muestra un resumen de las cuatro clases de calidad de servicio con sus

respectivas aplicaciones. Junto a cada aplicación la notación *TE* indica que esa aplicación presenta tolerancia a los errores y la notación *IE* que no es tolerante a los errores.

### 3.7.2. Seguridad

Las funciones de seguridad de UMTS están basadas en las que son utilizadas en GSM, pero adicionalmente algunas funciones han sido añadidas y otras mejoradas. El algoritmo de encriptación es más robusto y está incluido en la interfaz que conecta el Nodo B con el controlador de la red de radio RNC, y la aplicación de estos algoritmos es más estricta al igual que la confidencialidad del suscriptor.

Los principales elementos de seguridad que fueron tomados de GSM y acoplados en UMTS son:

- Autenticación de suscriptores
- Confidencialidad de la identidad del suscriptor
- Módulo de Identidad de Suscriptor (SIM) removible del *hardware* del terminal móvil
- Encriptación de la interfaz de radio

Además de las características heredadas de GSM y mencionadas anteriormente, UMTS incluye varias características adicionales de seguridad que son propias de los sistemas de tercera generación como las siguientes:

- Seguridad en contra de estaciones base falsas por medio de una autenticación mutua
- Encriptación extendida de la interfaz de aire solamente para la conexión entre el Nodo B y el RNC
- Utilización en el sistema de claves de cifrado y autenticación de datos durante las transmisiones
- Mecanismos para el mejoramiento de las características de seguridad implementadas

El tráfico de la red central entre los RNC, los MSC y otras redes no se encuentra cifrado y por lo tanto los operadores deben implementar protecciones para los enlaces de

transmisión de sus redes de núcleo. Por diseño los MSC tienen capacidades de interceptación permitidas y permiten también el acceso a los registros de datos de llamada, por lo que es muy importante que en todos los *switches* de la red se incorporen medidas de seguridad apropiadas para protegerlos de los accesos ilegales o no autorizados.

La arquitectura de seguridad 3G/UMTS define los siguientes grupos para las funciones de seguridad:

- **Seguridad de Acceso a la Red:** Es el conjunto de características de seguridad que proporciona a los usuarios acceso seguro a los servicios 3G y en particular protege de ataques al enlace de acceso vía radio.
- **Seguridad del Dominio de Red:** Es el conjunto de características de seguridad que permite a los nodos del dominio del proveedor intercambiar de forma segura datos de señalización y protege contra ataques a la red fija cableada.
- **Seguridad del Dominio de Usuario:** Es el conjunto de características de seguridad que hacen seguro el acceso al equipo móvil.
- **Seguridad del Dominio de Aplicación:** Es el conjunto de características de seguridad que permiten a las aplicaciones del dominio de usuario y del dominio del proveedor intercambiar mensajes de forma segura.
- **Visibilidad y Configurabilidad de la Seguridad:** Es el conjunto de características que permiten al usuario informarse de si las características de seguridad se encuentran operativas o no y si el uso y aprovisionamiento de los servicios depende de esas características de seguridad.

UMTS en sus especificaciones define tres parámetros de seguridad en lo que se refiere a la confidencialidad de la identidad del usuario. Estos parámetros son: la confidencialidad de la identidad del usuario, la confidencialidad de la localización del usuario, y la incapacidad de rastreo del usuario.

- **Confidencialidad de la Identidad del Usuario:** El IMSI perteneciente a un usuario al cual se está entregando un servicio dentro de la red no puede ser obtenido en el enlace de acceso de radio.

- **Confidencialidad de la Localización del Usuario:** La localización en un área determinada o el arribo a una nueva área de un usuario tampoco puede ser obtenida por medio de la información del enlace de radio.
- **Incapacidad de Rastreo del Usuario:** Por medio de este parámetro se imposibilita a cualquier intruso para que pueda deducir los servicios que se encuentra recibiendo un usuario en particular por medio de su acceso al enlace de radio.

El procedimiento de cifrado se lleva a cabo en el RNC en lado de la red y obviamente en cada terminal móvil en el lado del usuario. Esta función en ambos lados se la realiza a nivel de Capa 2 en la Subcapa RLC o en algunos casos en la Subcapa MAC[28].

### 3.7.3. Paginación

El propósito de la paginación o voceo es habilitar desde la red central a la red UTRAN para contactar con un equipo de usuario. Un nodo de la red central solicita paginación solo para un equipo de usuario cuando este se encuentra en estado suspendido es decir que no posee ninguna conexión activa. A continuación la Figura 3.31 muestra la forma en que se realiza el procedimiento de paginación en UMTS.

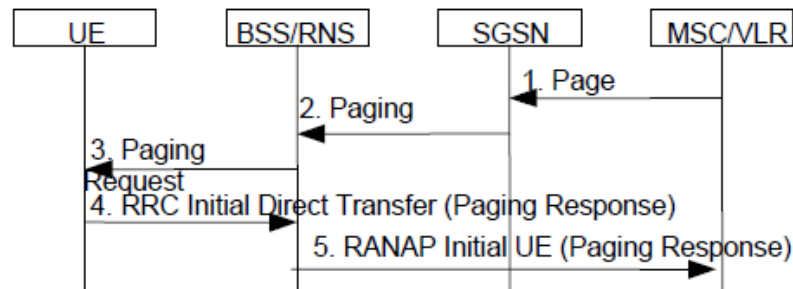


Figura 3.31: Procedimiento de Paginación en UMTS

En la Figura 3.31 se pueden observar todos los elementos de la red que intervienen en el procedimiento de paginación, incluyendo elementos pertenecientes a redes GSM, como el BSS. La presencia de elementos de red propios de GSM en el procedimiento de paginación de UMTS deja muy en claro la interoperabilidad que puede implementarse entre ambos sistemas.

El procedimiento empieza cuando el SGSN recibe un mensaje denominado *Page*, el cual es enviado por el MSC y contiene información como la identidad permanente (IMSI),

la identidad temporal (TMSI), y la localización del móvil a ser voceado. Si la información de localización no es incluida, entonces el SGSN voceará al móvil en todas las células de servicio que tengan que ver con el VLR al cual se encuentra asociado.

El SGSN enviará entonces un mensaje a cada RNS, en el cual incluye los datos de IMSI, TMSI, área de localización e indicador de dominio CN. El IMSI es necesitado por el RNS para identificar al equipo de usuario buscado, el área indica el lugar donde el móvil será voceado, y finalmente el indicador de dominio CN indica si el enlace requerido será por conmutación de paquetes o por conmutación de circuitos.

Después de esto el RNS se encarga de buscar al móvil requerido a través del voiceo. Una vez que el equipo móvil ha sido identificado, este responderá a la solicitud mediante un mensaje denominado *RRC Initial Direct Transfer* por medio del cual acepta el procedimiento de paginación para iniciar una conexión RRC.

Finalmente cuando el RNS recibe este mensaje envía hacia el SGSN la respuesta que ha recibido del equipo de usuario para indicar que el móvil ya ha sido identificado. Todo este intercambio de mensajes entre el equipo de usuario y los elementos de red involucrados se hace por medio del protocolo RANAP[17].

#### 3.7.4. Handoff

Para que un proceso de *handoff* se inicie en el sistema se toma una decisión que está basada en varios criterios de radio frecuencia medidos por el equipo de usuario o por la red como son el nivel de la señal, la calidad de la conexión, y el retraso en el nivel de potencia de propagación. La ejecución del procedimiento de *handoff* puede depender también del nivel de tráfico de una celda en un determinado momento, de algunos requerimientos de mantenimiento, de los niveles de interferencia, por citar algunos factores.

Para saber si un proceso de *handoff* es requerido el equipo de usuario toma mediciones de radio de las celdas vecinas, mediciones son reportadas a la celda de servicio con el fin de encontrar la celda más viable para prestarle servicio. Para tomar la decisión de ejecutar el procedimiento la red evalúa las mediciones y las compara con algunos parámetros definidos como umbral:

- **Umbral Superior:** Es el nivel máximo de potencia de la comunicación que el sistema admite en relación al QoS fijado.

- **Umbral Inferior:** Nivel mínimo para el cual se puede garantizar QoS.
- **Margen de Traspaso:** Indica el punto en el que el algoritmo de decisión considera que el nivel de la señal recibida desde la nueva celda supera al de la actual.

La Figura 3.32 ilustra la forma en que los umbrales y el margen de traspaso actúan en la decisión para la ejecución del procedimiento de *handoff* [26].

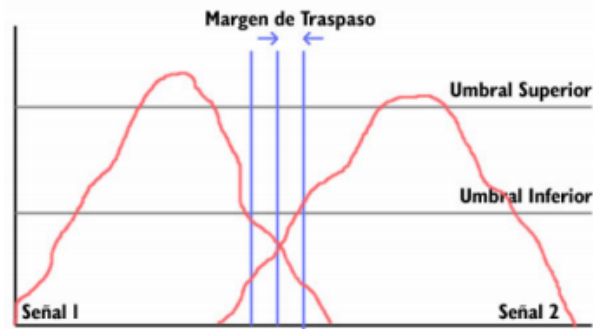


Figura 3.32: Ejecución del Procedimiento de *Handoff*

Existen tres categorías de *handoff* que son aplicables en este tipo de sistemas y que se explican a continuación.

### ***Hard Handoff***

El *hard handoff* implica que todos los enlaces de radio existentes en el equipo de usuario son removidos antes de que los nuevos enlaces sean establecidos. Generalmente este procedimiento puede ser “con costura” o “sin costura”, entiendo como *hard handoff* “sin costuras” a aquel proceso que resulta imperceptible para el usuario.

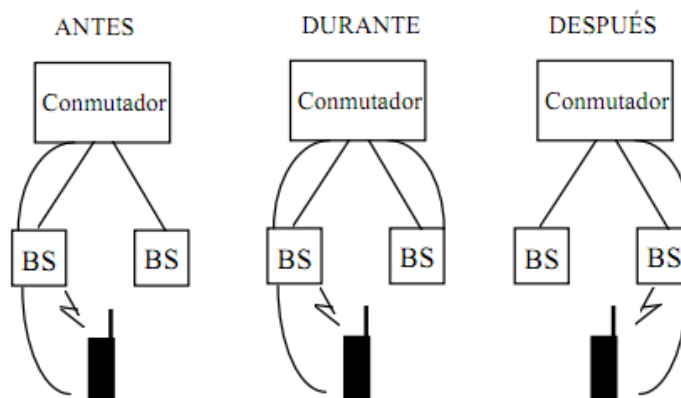


Figura 3.33: *Hard Handoff*

En la práctica un *handoff* que requiere del cambio de frecuencia de la portadora, es decir un inter-frecuencia, es siempre ejecutado como un *hard handoff*. La Figura 3.33 presentada anteriormente muestra la forma en que se lleva a cabo un *hard handoff*.

El *handoff* “sin costura” es posible haciendo que el equipo de usuario pueda activar el nuevo canal con la nueva estación base de acuerdo con la calidad percibida en el momento en que lo crea oportuno, es decir que se establecen dos caminos o dos canales en paralelo, pero con la consideración de que solamente un enlace se encuentra activo a la vez y el otro está listo y a la espera de que la red ordene la conmutación. La Figura 3.34 representa la forma en que se establecen los dos enlaces, el uno activo y el otro inactivo, en este tipo de procedimiento de *handoff* [26][29].

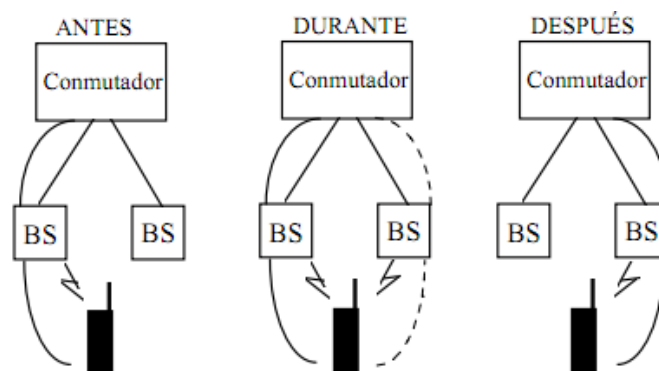


Figura 3.34: *Hard Handoff* “sin costura”

### *Soft Handoff*

Un *soft handoff* significa que los enlaces de radio son añadidos y removidos de tal manera que el equipo de usuario siempre mantenga al menos un enlace que lo comunique con la red UTRAN, en otras palabras antes de suspender el enlace activo el equipo de usuario establece por completo el nuevo enlace, de tal manera que un instante dado se tienen dos enlaces activos durante la transición, haciendo que esta sea suave y sin ningún tipo de corte en la señal ni en el servicio.

Normalmente el *soft handoff* puede ser utilizado cuando el equipo de usuario realiza cambios entre celdas que operan con la misma frecuencia, es decir que no existe un cambio en la frecuencia de la portadora de radio.

La Figura 3.35 muestra un esquema que representa la ejecución de un *soft hand-off* [26][29].

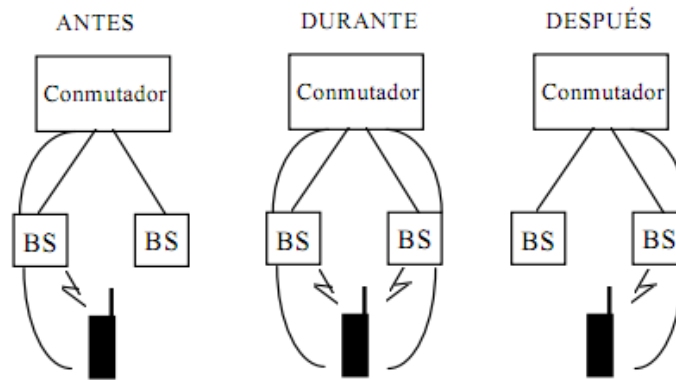


Figura 3.35: *Soft Handoff*

### *Softer Handoff*

El *softer handoff* es un caso especial del *handoff* suave en el cual los enlaces de radio que son agregados y removidos pertenecen al mismo Nodo B, es decir que el cambio de servicio en este caso se realiza solo entre diferentes sectores pertenecientes a la misma estación base. Un *handoff* de este tipo también puede aplicarse cuando el equipo móvil se encuentra en un área en el cual dos celdas se traslapan y haciendo uso del concepto de macrodiversidad dicho equipo puede establecer comunicación con las dos estaciones base al mismo tiempo.

Por lo general en los sistemas UMTS se pueden especificar y ejecutar varios tipos de *handoff* que lógicamente se enmarcan dentro de las tres clases descritas. Estos tipos de *handoff* son:

- *Handoff* 3G - 3G, es decir entre UMTS y otros sistemas de tercera generación
- *Soft* y *softer handoff* FDD
- *Hard handoff* inter-frecuencia FDD
- *Handoff* FDD/TDD y TDD/FDD que incluye cambios de celda
- *Handoff* TDD/TDD
- *Handoff* 3G - 2G, es decir de UMTS a GSM
- *Handoff* 2G - 3G, es decir de GSM a UMTS[29].



## Consideraciones Adicionales

Al igual que ocurre en los sistemas MBWA, los sistemas UMTS también manejan un *Active Set* que está definido en cada equipo de usuario y se encuentra formado por el conjunto de Nodos B a los cuales se encuentra conectado de manera simultánea. En otras palabras las celdas que en un momento determinado están asignando un canal DPCH sobre el enlace de bajada a un equipo de usuario constituyen el *Active Set* de dicho terminal.

Por otra parte, las celdas que no se encuentran incluidas en el *Active Set* pero que podrían incluirse, es decir que de acuerdo a las mediciones efectuadas por el equipo de usuario son buenas candidatas para un posible procedimiento de *handoff* se encuentran en el *Monitored Set*, y en cualquier momento podrían pasar a formar parte del *Active Set*.

Finalmente las celdas que son detectadas por el equipo de usuario pero que no se encuentran en ninguno de los *sets* anteriores forman parte del *Detected Set*. Las celdas pertenecientes a este grupo en un momento dado difícilmente podrían considerarse como candidatos para un *handoff*.

Se ha dicho que la decisión de ejecución de un procedimiento de traspaso se base en ciertas mediciones realizadas en la interfaz de aire, y realmente son muchos los parámetros que se consideran, pero entre los más importantes se puede mencionar a los siguientes:

- **Mediciones Intra-frecuencia:** Son mediciones realizadas en los canales físicos del enlace de bajada que operan en la misma frecuencia que el *Active Set*. Este tipo de mediciones se realizan dentro de una misma celda.
- **Mediciones Inter-frecuencia:** Son mediciones realizadas en los canales físicos del enlace de bajada que operan en frecuencias diferentes a las utilizadas en el *Active Set*.
- **Mediciones Inter-Tecnologías de Acceso de Radio:** Se realizan en los canales físicos del enlace de bajada pertenecientes a otras tecnologías de acceso de radio diferentes de UTRAN, como por ejemplo GSM.
- **Mediciones del Volumen de Tráfico:** Como su nombre lo indica estas mediciones cuantifican el volumen de tráfico que se maneja en el enlace de subida.
- **Mediciones de Calidad:** Son la cuantificación de los parámetros de calidad del enlace de bajada.

- **Mediciones internas del UE:** Son mediciones correspondientes a los niveles de potencia de transmisión y de señal recibida en el equipo de usuario.

El equipo de usuario soporta un cierto número de procesos de medición ejecutándose en paralelo, pero también puede manejar el control y reporte de una medición específica de forma independiente dependiendo de la importancia de dicha medición[29].

## Capítulo 4

### ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE MBWA Y UMTS PARA EL ACCESO DE BANDA ANCHA MÓVIL

En el Capítulo II y Capítulo III se describió detalladamente tanto las características como el funcionamiento de las tecnologías MBWA y UMTS respectivamente. En base a dicha información se procederá a realizar un estudio comparativo que relacione ambas tecnologías de acceso y que permita determinar y establecer las más significativas ventajas y/o desventajas que presenta la una con respecto de la otra. Este estudio comparativo se centrará principalmente en términos de características, funcionamiento, arquitectura, eficiencia y aplicaciones.

#### 4.1. Comparación de Características, Arquitecturas y Especificaciones

##### 4.1.1. Características Básicas

##### 4.1.1.1. Especificaciones Principales

En cuanto a las características básicas y a las especificaciones fundamentales de ambas tecnologías de acceso se pueden establecer los siguientes criterios de comparación.

Los sistemas MBWA están diseñados para operar en bandas licenciadas por debajo de los 3.5 GHz, mientras que los sistemas UMTS para esta región geográfica tienen asignadas las bandas entre 1850 y 1990 MHz, y en la práctica en Ecuador se encontraba operando en la banda de 1900 MHz, pero debido a cambios realizados por parte de los operadores móviles se cambió la operación a los 850 MHz.

La canalización de los sistemas MBWA está pensada para que puedan utilizarse

portadoras con un ancho de banda de hasta 20 MHz, recomendándose que sean utilizadas portadoras con valores de 1.5, 5 y 20 MHz. Por su parte en UMTS se emplean portadoras con un ancho de banda de 5 MHz únicamente, por lo que en las siguientes consideraciones se asumirá que los valores corresponden a sistemas *Mobile Fi* con canales también de 5 MHz.

Para mejorar la optimización de recursos en lo referente a la utilización del espectro y para evitar los efectos de la interferencia, se hace uso del concepto conocido como reutilización de frecuencias, que permite que las mismas frecuencias de transmisión sean utilizadas en celdas no consecutivas. El esquema con el que se planifica la reutilización de frecuencias se especifica por medio del factor de reutilización. En el caso de UMTS se utiliza un factor de reutilización universal igual a 1, es decir que en todas las celdas se transmite con la misma frecuencia sin problemas de interferencia, debido a que el mecanismo de acceso utilizado es WCDMA. A diferencia de UMTS, MBWA incorpora un mecanismo de reutilización fraccional de frecuencias que permite tener factores de reutilización menores o iguales a 1.

En lo concerniente a los esquemas de modulación y codificación existen muchas similitudes entre ambas tecnologías. Se mencionó que los sistemas MBWA hacen uso de esquemas de modulación de orden superior que incluyen a QPSK, 8PSK, 16QAM y 64QAM; mientras que en UMTS se utiliza casi exclusivamente el esquema QPSK, aunque en los *releases* posteriores de UMTS que definen las tecnologías HSDPA y HSUPA se incorporan ya modulaciones superiores como 16QAM y 64QAM.

Tanto en MBWA como en UMTS se utilizan codificaciones convolucionales y turbo para la detección y corrección de errores, la diferencia radica básicamente en las tasas de codificación que se implementan en cada sistema. En *Mobile Fi* se define la utilización de codificadores convolucionales con tasas de  $1/3$  y codificadores turbo con tasas de  $1/5$ , y en UMTS se incorporan codificaciones convolucionales con tasas de  $1/2$ , aunque también pueden utilizarse tasas de  $1/3$  al igual que en MBWA, y codificaciones turbo con tasas de  $1/3$ .

Una de las diferencias más importantes, y que marca una clara ventaja de MBWA sobre UMTS, es la velocidad de transmisión tanto en ambientes sin movilidad como en ambientes con movilidad a altas velocidades, siendo mucho más eficiente MBWA sobre todo en el segundo caso.

Con canales de 5 MHz MBWA puede alcanzar velocidades de hasta 4 Mbps en el enlace de bajada y de 1.2 Mbps en el enlace de subida, pudiendo alcanzar en teoría tasas elevadísimas de hasta 260 Mbps con canales de 20 MHz de ancho de banda y utilizando sistemas de múltiples antenas MIMO. Por su parte, UMTS permite alcanzar tasas de transmisión que van desde los 384 Kbps hasta un máximo de 2 Mbps, siendo en la práctica de 1 Mbps la velocidad máxima que se alcanza en los sistemas UMTS de tercera generación que operan en el país. Evidentemente que con las evoluciones posteriores a UMTS, definidas como HSDPA y HSUPA y conocidas como 3.5G y 3.75G respectivamente, es posible alcanzar tasas de transmisión mucho mayores que van teóricamente hasta los 14 Mbps en el enlace de bajada y hasta los 6 Mbps en el enlace de subida, aunque las velocidades reales resultan ser bastante menores.

La comparación realizada anteriormente asume ambientes con escasa movilidad, pero en el caso de asumir transmisiones realizadas con movilidad a altas velocidades, MBWA supera ampliamente a UMTS desde todo punto de vista, y esto es totalmente lógico tomando en cuenta que toda la interfaz de aire del estándar IEEE 802.20 ha sido diseñada para garantizar una verdadera movilidad sin pérdida de conectividad y sin degradación en la calidad de servicio. Mientras que UMTS posee una movilidad muy reducida y presenta degradaciones significativas en la QoS a velocidades no muy elevadas, MBWA garantiza transmisiones de por lo menos 1 Mbps a velocidades de hasta 250 Km/h.

Evidentemente que ambas tecnologías de acceso son utilizadas para redes de área metropolitana, es decir que el alcance y la cobertura de una estación base debe cubrir a usuarios ubicados a varios kilómetros de distancia, pero en este sentido podría afirmarse que es más eficiente UMTS sobre todo por razones de costos, ya que una macro celda UMTS puede llegar a cubrir hasta 40 kilómetros, mientras que una estación base de MBWA puede funcionar eficientemente en radios de hasta aproximadamente 15 kilómetros.

En cuanto al soporte de *handoff*, se encuentra definido en las dos tecnologías cuando se trata de *handoff* inter-celda, inter-sector o inter-frecuencia; pero se agrega en MBWA el concepto de *handoff* inter-tecnología de acceso de radio para permitir la coexistencia e interoperabilidad entre *Mobile Fi* y los sistemas de acceso existentes tales como el propio UMTS.

Las tres características que se citan a continuación constituyen ventajas considerables de funcionamiento de *Mobile Fi* con respecto a UMTS:

- MBWA permite tener conectividad todo el tiempo y en todo lugar, garantizando de esta manera bajos tiempos de latencia en sus transmisiones, mientras que en UMTS puede sentirse la falta de soporte para servicios de baja latencia.
- MBWA garantiza un soporte transparente de aplicaciones en tiempo real y no real con una alta eficiencia en la transmisión de datos a diferencia de UMTS en donde la eficiencia para la transmisión de datos es media en el enlace de bajada y baja en el enlace de subida.
- La tecnología definida en el estándar IEEE 802.20 soporta múltiples instancias de protocolos MAC con rápidas transiciones entre cada instancia, lo que permite proporcionar una asignación rápida de recursos en los enlaces de bajada y de subida.

A *grosso modo* puede decirse que la arquitectura de MBWA fue diseñada y optimizada para el transporte de datos IP, lo que quiere decir que su arquitectura está orientada a una transmisión por conmutación de paquetes; a diferencia de la arquitectura de UMTS que está orientada en su esencia a transmisiones por conmutación de circuitos pero que ha sido adaptada y evolucionada para la conmutación de paquetes.

Uno de los aspectos más importantes en cualquier red de voz y datos es la seguridad. Ambas tecnologías incorporan mecanismos de seguridad robustos que permiten garantizar la integridad y la privacidad de toda la información que se transmite a través de ellas. En MBWA se hace uso del algoritmo de seguridad AES-128 para garantizar una seguridad de red de extremo a extremo y se lo complementa con la utilización de un sistema de encriptación de datos muy eficiente denominado *cryptosync* y con el intercambio de claves de autenticación entre la estación base y el terminal de acceso al momento de realizar la comunicación. En UMTS además de la encriptación y el intercambio de claves se implementa también seguridad a nivel del equipo de usuario por medio de la tarjeta SIM y del código de identificación IMEI.

Evidentemente tanto UMTS como MBWA permiten incorporar capacidades de gestión de QoS de extremo a extremo con soporte de IPv4 e IPv6, la diferencia entre las dos tecnologías es la forma en la que se implementan y manejan dichas capacidades tal como se verá más adelante.

En lo que respecta a la eficiencia espectral podría considerarse que MBWA presenta también ventajas de funcionamiento, ya que por medio de la utilización de múltiples antenas adaptativas, de la utilización de técnicas de acceso como SDMA, de la reutilización

fraccional de frecuencias y de la implementación del concepto de diversidad permite conseguir una muy elevada eficiencia espectral que junto con otras características como las de modulación y codificación hacen posible alcanzar altas tasas de transmisión aún en ambientes de gran movilidad.

**Tabla 4.1: Comparación entre el Estándar IEEE 802.20 y 3G**

Punto de Vista	802.20	3G
<b>Usuario Final</b>	Movilidad total, <i>Throughput</i> de datos de usuario elevado  Servicios de datos simétricos  Soporte de servicios de datos con baja latencia	Usuarios de voz requiriendo servicios de datos  Servicios de datos altamente asimétricos  Falta de soporte de servicios de datos con baja latencia
<b>Proveedor de Servicio</b>	Movilidad global y soporte de <i>roaming</i>  Puede ser proporcionado por un proveedor de servicios celulares de voz evolucionado para el soporte de datos	
<b>Tecnología</b>	Nuevas capas PHY y MAC optimizadas para el transporte de paquetes y antenas adaptativas  Optimizado para la movilidad  Bandas por debajo de los 3.5 GHz  Ancho de banda típico $\leq 5$ MHz  Arquitectura orientada a paquetes  Alta eficiencia para el transporte de datos en <i>uplink</i> y <i>downlink</i>  Canalización y control para servicios móviles multimedia. Basados en IP móvil	Utilización de WCDMA  Evolución de GSM  Banda de 1900 MHz  Ancho de banda de 5 MHz  Arquitectura orientada a circuitos y evolucionada a paquetes  Eficiencia media en <i>downlink</i> y baja en <i>uplink</i>  Canalización y control optimizada para servicios móviles de voz basados en MAP / SS7

En la Tabla 4.1 se resume la comparación entre los aspectos más importantes de ambas tecnologías[5].

#### 4.1.2. Arquitecturas de Red

##### 4.1.2.1. Comparación de los Modelos de Arquitectura de Red

Como se describió oportunamente en la sección correspondiente, el modelo de referencia de la arquitectura de red de los sistemas MBWA, tanto *Wideband* como *Best-Wire*, divide de manera general a la red en tres unidades funcionales que son la red de acceso (AN), el terminal de acceso (AT) y el sector.

La red de acceso es el equipamiento de red que proporciona conectividad de capa 3 entre una red IP, que comúnmente es el internet, y los terminales de acceso que son los equipos de usuario que le permiten a éste tener conectividad con la red. Para la comunicación entre la AN y el AT se utilizan los sectores que no son otra cosa que un conjunto de canales de Capa Física que se transmiten entre ambas entidades en una asignación de frecuencias dada. Un AT tiene la capacidad de comunicarse con una o más AN a través de la interfaz de aire que también forma parte de la arquitectura de red y que define los protocolos de las capas MAC y PHY para todos los sectores de la red.

Queda totalmente claro que la arquitectura de red de los sistemas MBWA puede explicarse de manera sencilla diciendo simplemente que el terminal de acceso que es el equipo de usuario se comunica por medio de la interfaz de aire con los diversos sectores de la red de acceso por medio del establecimiento de una o varias rutas. Una vez establecida la comunicación con la red de acceso, ésta es la encargada de proporcionar conectividad de capa de red entre una red IP cualquiera y el terminal de acceso.

Se describió también el modelo referencial de la arquitectura de red de UMTS indicando que de igual manera se compone de tres bloques funcionales, dos de los cuales coinciden con los descritos para MBWA, estos son el equipo de usuario (UE) y la red de acceso que en el caso de UMTS se conoce como UTRAN. El tercer bloque funcional de la arquitectura de UMTS está constituido por la red central o red de núcleo que puede definirse como la parte inteligente del sistema.

Existe cierta similitud en los modelos referenciales de arquitectura de red de las dos tecnología de acceso, aunque obviamente ya en su funcionamiento son completamente



diferentes. La similitud consiste básicamente en los bloques funcionales que las componen y en las interacciones que se producen entre ellos, aunque la forma en que interactúan y las funciones que cumple cada uno cambian sustancialmente.

En UMTS el equipo de usuario se comunica con la red de acceso UTRAN por medio también de la interfaz de aire implementada con tecnología WCDMA. La red de acceso de UMTS es la que hace posible que se lleve a cabo la comunicación entre el equipo de usuario y la red central, a diferencia de la red de acceso de MBWA que es la encargada de comunicar al terminal de acceso directamente con una red IP externa en un modelo de arquitectura puramente IP. Finalmente la red central o *core network* es la encargada de realizar funciones de transporte de información tanto de tráfico como de señalización y de manera general es la parte de la red que contiene toda la inteligencia del sistema ya que permite que los sistemas UMTS puedan conectarse con otras redes y sistemas de comunicación.

Si se hace una analogía entre las dos arquitecturas de red, podría decirse que la red de acceso de MBWA cumple al mismo tiempo las funciones de la red de acceso y de la red central de UMTS, ya que, permite la comunicación del terminal de usuario con otras redes.

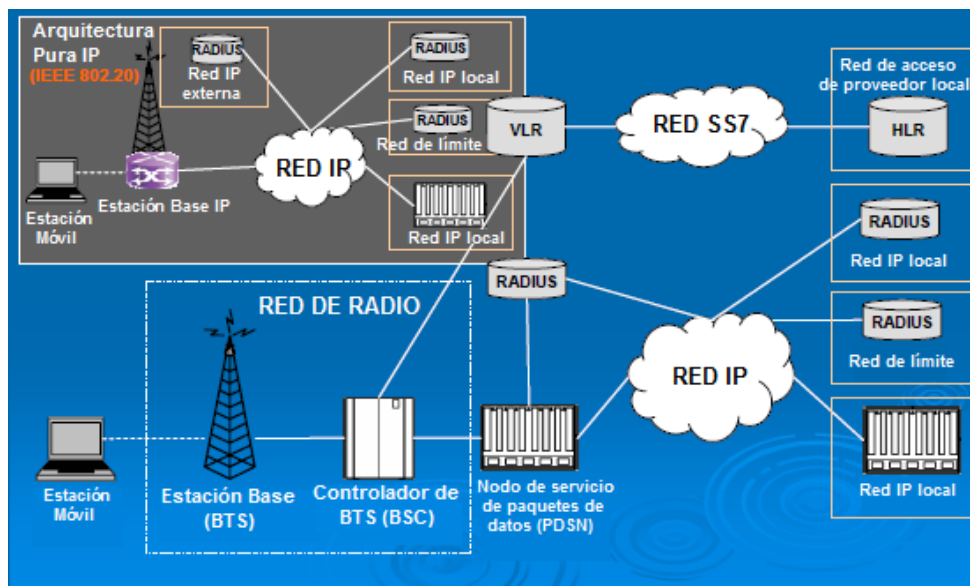


Figura 4.1: Modelo Referencial de Arquitectura de MBWA y UMTS para acceso con IP móvil

Los sistemas MBWA presentan una arquitectura puramente IP que se encuentra orientada a la transmisión por conmutación de paquetes, mientras que UMTS está definido por una arquitectura evolucionada de GSM y que por consiguiente está orientada a la

conmutación de circuitos y adaptada para la transmisión por conmutación de paquetes. En otras palabras, más allá de que el modelo referencial de arquitectura sea similar, la composición y funcionamiento de la red es muy diferente en ambos sistemas.

Mucho se ha hablado de la posibilidad de que MBWA pueda coexistir con UMTS, pero para eso es necesario establecer un modelo de red o arquitectura de red que con las adaptaciones necesarias permita dicha coexistencia. En la Figura 4.1 se muestra un modelo de arquitectura propuesta para hacer posible la coexistencia de las dos tecnologías[5].

Como puede observarse, el sistema MBWA presenta una arquitectura puramente IP en la cual la estación móvil o terminal de acceso se comunica inmediatamente con una red IP luego de pasar por una estación base que forma parte de la red de acceso. En esta nube IP, los terminales de acceso del sistema MBWA pueden comunicarse con cualquier otra red IP que tenga acceso a ella por medio de un servidor *Radius* que se encarga del acceso y la autenticación.

El servidor *Radius* incorpora el protocolo del mismo nombre, protocolo que proporciona la gestión centralizada de autenticación y autorización para que un terminal de usuario pueda conectarse a una red y hacer uso de los servicios que esta ofrece. Cuando se realiza la conexión con un ISP, se envía una información que generalmente es un nombre de usuario y una contraseña. Esta información se transfiere a un dispositivo *Network Access Server* (NAS) sobre el protocolo PPP, quien redirige la petición a un servidor *Radius* sobre el protocolo *Radius*. Este servidor comprueba que la información es correcta utilizando esquemas de autenticación. Si es aceptado, el servidor autorizará el acceso al sistema del ISP y le asignará los recursos de red como una dirección IP, y otros parámetros[30].

La arquitectura de red de UMTS se mantiene en su esencia, con la única diferencia que se incorpora un Nodo de Servicio de Paquetes de Datos (PDSN) que es el encargado de ser el punto de conexión entre la red de radio y una red IP. Este componente es el responsable de la gestión de las sesiones PPP entre la red central IP y la estación móvil. En la práctica podría decirse que el PDSN es simplemente una combinación entre el SGSN y el GGSN utilizados en UMTS para el aprovisionamiento de servicios de datos.

Para el establecimiento de llamadas de voz, tanto la red MBWA como la red UMTS hacen uso del VLR y el HLR, que en este caso son comunes para las dos tecnologías, y se comunican sobre una red SS7; mientras que para la transmisión de datos ambas convergen en la misma red IP, accediendo a ella directamente en el caso de MBWA y por medio del

PDSN en el caso de UMTS[5].

### 4.1.3. Capa Física

De manera general se conoce que la Capa Física es la encargada de llevar a cabo funciones de vital importancia para la operación del sistema, funciones que incluyen entre otras, la modulación y codificación sobre los canales físicos, la preparación de los datos para su transmisión, el control de potencia, y la implementación de diversos mecanismos para mejorar la eficiencia espectral.

Si bien es cierto que tanto en MBWA como en UMTS y en cualquier otro sistema de comunicación inalámbrico la Capa Física lleva a cabo las mismas funciones básicas, también es cierto que la forma en que lo hace y los procedimientos que utiliza para desempeñar sus papel sí difieren considerablemente en cada sistema.

En el caso de los sistemas MBWA *Wideband* la Capa Física utiliza una combinación de dos métodos diferentes para controlar el acceso al medio o canal: OFDMA para los canales de datos en el enlace de bajada y una combinación de OFDMA para los canales de datos y CDMA para algunos de los canales de control en el enlace de subida. En los sistemas MBWA 625k-MC el procedimiento de control para el acceso al medio varía ya que está diseñado para implementarse como si se tratara de un sistema TDMA.

La interfaz de aire implementada en UMTS es WCDMA, lo que quiere decir que el método utilizado por la Capa Física para el acceso al canal es el acceso múltiple por división de código en su modificación para banda ancha con canales de 5 MHz.

Tomando en cuenta que desde el método de acceso al medio es diferente, se pueden suponer todas las diferencias que existen entre las especificaciones de la Capa Física de ambos sistemas. A pesar de que el procedimiento utilizado en UMTS es bastante eficiente, lo es mucho más el método de acceso múltiple por división de frecuencias ortogonales utilizado en MBWA *Wideband* ya que permite mejorar la eficiencia en la utilización del espectro por medio de la optimización en la aplicación de antenas adaptativas. Aunque en el modo 625k-MC se utilice un método de acceso no tan evolucionado como es TDMA, la eficiencia del sistema también está garantizada debido a que se emplean canales de banda angosta que resultan muy apropiados para la transmisión con este tipo de acceso.

Tanto en *Mobile Fi* como en UMTS se utilizan dos modos de operación, FDD y TDD,

para realizar las transmisiones haciendo una duplexación por división de frecuencia o una duplexación por división de tiempo respectivamente. Cada uno de estos modos configura requerimientos ligeramente diferentes en la funcionalidad de la Capa 1. En el modo FDD, las transmisiones en el enlace de subida y en el enlace de bajada utilizan diferentes bandas de frecuencia; mientras que en el modo TDD las transmisiones sobre ambos enlaces se realizan en la misma frecuencia pero en diferentes ranuras de tiempo.

En este sentido a los sistemas WCDMA-TDD se los puede considerar en realidad como un sistema CDMA/TDMA debido a la utilización de diferentes ranuras de tiempo para las transmisiones, mientras que WCDMA-FDD responde al modelo clásico de CDMA y es principalmente en este modo en el cual se centran las principales aplicaciones y productos UMTS. Un canal físico en el modo FDD está definido por una frecuencia o portadora y por un código, mientras que en el modo TDD ese mismo canal está definido por un código y una secuencia de ranuras de tiempo.

Es muy importante aclarar que los intervalos de tiempo en FDD solamente marcan la cadencia en la variación de ciertos parámetros de radio como el control de potencia, más no implica que dichas ranuras se utilicen para transmitir alternadamente entre los enlaces de subida y de bajada como su sucede en el modo TDD.

En MBWA se puede implementar tanto FDD como TDD en el modo *Wideband* y solamente TDD en el modo 625k-MC ya que permite una asignación flexible de recursos entre los enlaces de subida y de bajada y facilita la operación con canales con un ancho de banda reducido.

En el modo de operación *Wideband*, la Capa Física maneja las transmisiones por medio de símbolos OFDM con un espaciamiento entre portadoras de 9.6 KHz; y el sistema puede ser desplegado en anchos de banda flexibles comprendidos entre 5 y 20 MHz, utilizando técnicas de transmisión MIMO que le permiten alcanzar velocidades de datos superiores a los 260 Mbps en canales con un ancho de banda de 20 MHz. Adicionalmente en la operación de un sistema MBWA *Wideband* se pueden utilizar anchos de banda flexibles por medio de la aplicación de portadoras de guarda de longitud variable, siendo este ancho de banda escalable en unidades de 154 KHz.

El ancho de banda utilizado en el modo 625k-MC es totalmente diferente, ya que se hace uso de canales de banda angosta para realizar las transmisiones. Tal y como su nombre lo indica, en este modo de operación de MBWA se manejan múltiples portadoras

de 625 KHz cada una, las cuales pueden ser unidas o agregadas para formar un solo canal; la agregación más recomendable es la de cuatro portadoras que hace posible la obtención de canales con un ancho de banda total de 2.5 MHz.

Se ha mencionado anteriormente que el ancho de banda de canal recomendado para la implementación de sistemas MBWA es de 5 MHz, pero debe resaltarse el hecho de que el sistema puede desplegarse en anchos de banda flexibles de acuerdo a los requerimientos de velocidad y a la disponibilidad del espectro; a diferencia de *Mobile Fi*, en UMTS no se dispone de esa libertad de diseño y no pueden hacerse implementaciones con anchos de banda flexibles sino que únicamente se utilizan canales con un ancho de banda estandarizado en 5 MHz con el cual deben cubrirse todas las necesidades del sistema y del usuario.

Una de las características principales de los sistemas de acceso inalámbrico de banda ancha móvil MBWA es la alta eficiencia espectral que manejan, la misma que es posible debido a la utilización de codificaciones turbo y modulaciones de orden superior; y además a la incorporación de un mecanismo de salto de frecuencia o *frequency hopping* que es utilizado junto con OFDMA para incrementar la diversidad en el sistema; siendo soportados dos modos distintos de salto de frecuencia.

La codificación turbo que se utiliza típicamente tiene una tasa de 1/5 y se utiliza para codificar paquetes en los cuales el número de bits de información es mayor a 128; y adicionalmente a los códigos turbo también se utilizan códigos convolucionales con una tasa de 1/3 o 1/2 cuando se necesita codificar paquetes pequeños con una cantidad de bits de información menor a 128.

En cuanto a la modulación de orden superior, comúnmente se utilizan modulaciones QPSK, 8PSK, 16QAM y 64QAM; aunque en el modo 625k-MC existe la posibilidad de manejar un esquema de modulación más variado que incluye además modulaciones BPSK, 12QAM, 24QAM y 32QAM.

En UMTS no se maneja la posibilidad de implementar diferentes esquemas de modulación de acuerdo a los requerimientos del sistema como en MBWA, sino que solamente se hace uso de una modulación de tipo QPSK en todos los canales y modos de funcionamiento. Es evidente que la utilización de diversos tipos de modulaciones de orden superior hacen que *Mobile Fi* supere las características de eficiencia espectral presentadas por UMTS.

Existe mucha similitud en los procedimientos de detección y corrección de errores que

se implementan en MBWA y UMTS. En los dos sistemas se utilizan códigos de detección de redundancia cíclica para la detección de errores y codificación FEC de tipo convolucional y turbo para la corrección de los mismos, la diferencia radica en la tasa de codificación que se utiliza en cada sistema. Además de los métodos de detección y corrección de errores las dos tecnologías manejan un mecanismo híbrido H-ARQ de reenvío de datos perdidos o corrompidos.

Existen ciertas nuevas características y funcionalidades de la Capa Física que se incorporan en los sistemas definidos según el estándar IEEE 802.20 y que en realidad representan una gran innovación ya que no han sido definidos para sistemas de tercera generación y por consiguiente no forman parte de su implementación. A continuación se mencionan algunas de estas funcionalidades que solamente son características de MBWA y no de UMTS.

El modo *Wideband* describe varias técnicas de transmisión avanzadas que incluyen transmisiones con múltiples entradas y múltiples salidas (MIMO), pre-codificación, *beamforming* aplicable solamente para el modo TDD, y utilización de acceso múltiple por división de espacio (SDMA). MIMO permite manejar altas tasas de transmisión para los usuarios, el *beamforming* incrementa también la tasa de datos de usuario concentrando la potencia de transmisión en la dirección en que se encuentran el mismo, posibilitando de esta manera obtener un mayor SINR de recepción en la terminal de acceso; y SDMA incrementa la capacidad de sectorización al permitir transmisiones simultáneas a múltiples usuarios que pueden estar espacialmente separados. El *beamforming* junto con MIMO y SDMA proporciona tasas de usuario más elevadas tanto en las regiones con un bajo SINR como en las regiones con SINR elevado.

Para mejorar aún más la eficiencia espectral, el área de cobertura y los mecanismos de transmisión, MBWA incorpora características como la utilización de enlaces cuasi-ortogonales y la reutilización fraccional de frecuencias que es una técnica de gestión de interferencias que proporciona una mejor experiencia de uso para los usuarios en los límites de las celdas[8][9][11][20].

#### 4.1.3.1. Estructura de las Tramas

Tanto el modo de operación FDD como TDD de MBWA utilizan estructuras de trama para la transmisión a nivel de la Capa Física. La utilización de estructura de tramas proporciona una transmisión de paquetes con una latencia inferior a los 5.5 ms, lo cual hace

posible que los sistemas MBWA soporten aplicaciones que presenten una alta sensibilidad a los retardos. Además de la baja latencia que se obtiene en las transmisiones, el sistema emplea canales de control que han sido diseñados para soportar varios modos de transmisión que proporcionen *overheads* reducidos.

La unidad de transmisión de los enlaces de subida y de bajada son las supertramas, las cuales a su vez se dividen en unidades de Tramas PHY o Tramas de Capa Física. La estructura de trama del sistema MBWA define la temporización de las Tramas PHY del enlace de bajada y de subida dentro de una supertrama; y adicionalmente, entrega los parámetros para la temporización relativa a las asignaciones, acuses de recibo y retransmisiones H-ARQ asociadas con un paquete de datos.

Esta estructura de tramas está diseñada para minimizar la latencia en la transmisión de datos mientras se mantiene duraciones de procesamiento aceptables para los procesos de codificación y decodificación tanto en el terminal como en el punto de acceso.

En el caso del modo FDD, la supertrama del enlace de bajada está formada por un preámbulo de supertrama seguido por 24 Tramas PHY de enlace de bajada y la supertrama del enlace de subida está formada por 24 Tramas PHY de enlace de subida sin ningún preámbulo; cada Trama PHY está formada por 8 símbolos OFDM. El preámbulo de supertrama transporta las secuencias de adquisición más algunos parámetros clave de *overhead* que habilitan al AT para recibir los canales de control del enlace de bajada, y subsecuente hacer posible el acceso del mismo al sistema.

A diferencia del modo FDD, en el modo TDD, una supertrama no se encuentra formada por 24 Tramas PHY, sino que esas 24 tramas deben ser repartidas entre el enlace de subida y de bajada, es decir que en el modo TDD la supertramas del enlace de subida y de bajada están conformadas por un número menor de tramas que dependerá de la relación de particionamiento TDD que se esté utilizando; evidentemente que la suma de las tramas que conforman la supertrama del enlace de subida y del enlace de bajada debe ser igual a 24 que es el número de Tramas PHY generado en cada transmisión.

En el caso particular del modo 625k-MC la estructura de Trama TDD que se utiliza está diseñada para la implementación en una canalización de banda angosta y consta solamente de 6 ranuras de tiempo, de las cuales la primera mitad se asigna al enlace de subida y la segunda mitad al enlace de bajada[8].

De manera similar en UMTS se utiliza también una estructura de tramas para la transmisión de datos. Cada trama de radio tiene una duración de 10 milisegundos que corresponde al tiempo de duración de un periodo de control de potencia, y se encuentra dividida en 15 ranuras de tiempo, lo que permite alojar hasta 2560 *chips* por ranura de tiempo y transportar el mismo número de símbolos en cada una de ellas. En este caso se asume que un *chip* puede acomodar solamente un símbolo, pero esto puede variar, debido a que es posible transportar más de un bit de datos dentro de un *chip* cuando se emplean esquemas de modulación de orden superior; por ejemplo, si se emplea un esquema de modulación QPSK, como de hecho se utiliza en UMTS, es posible transferir dos bits de datos sin procesar dentro de cada *chip*.

Para las transmisiones en el modo TDD el reparto entre las ranuras se realiza asignando cada uno de los 15 intervalos de tiempo, en los que se divide cada trama, a uno u otro sentido de transmisión. La única restricción a esta regla es la de reservar al menos un intervalo para cada uno de los enlaces. Dicha asignación puede cambiar de trama a trama, lo que convierte a este modo en idóneo para aplicaciones de tráfico asimétrico como el acceso a Internet.

Al igual que en el modo TDD, en el modo FDD, se maneja una tasa de 3.84 Mcps y un formato de trama con una duración de 10 milisegundos dividida en 15 ranuras de tiempo, cada una equivalente a 0.666 milisegundos.

Queda completamente claro que en el modo FDD la segmentación de las tramas en ranuras de tiempo no se la utiliza para llevar a cabo una duplexación de la banda de frecuencia para que los enlaces de bajada y de subida puedan compartirla, sino simplemente con el objetivo de obtener puntos de referencia temporal para la variación de ciertos parámetros del enlace de radio.

En ambos modos, las 15 ranuras de tiempo que forman una trama se encuentran numeradas de 0 a 14 para su identificación, y de la misma manera cada trama cuenta con un identificador conocido como Número de Trama del Sistema (SFN) que le permite numerarse dentro de una supertrama. Cada supertrama en UMTS se encuentra formada por 72 tramas de 10 milisegundos cada una, lo que significa que la duración de una supertrama es de 720 milisegundos.

Puede decirse que la estructura de tramas que se utiliza en las dos tecnologías es muy similar y se maneja con el mismo concepto, lo que hace diferente la estructura de MBWA



de la de UMTS es la utilización de preámbulos en las supertramas del enlace de bajada, preámbulos que llevan información de control, información que en el caso de UMTS es transportada en las mismas tramas, razón por la cual la utilización de preámbulos no es necesaria.

Otra diferencia fundamental entre las Tramas PHY de MBWA y las tramas de UMTS es la duración de las mismas. Las tramas de MBWA tienen una duración mucho menor que las tramas de UMTS, lo que ocasiona obviamente que las supertramas de *Mobile Fi* sean también más cortas en cuanto a su duración. El hecho de transmitir supertramas más cortas permite que en un mismo intervalo de tiempo los sistemas MBWA puedan enviar muchas más tramas que UMTS, y la capacidad de enviar más tramas junto con un apropiado esquema de modulación hacen posible que MBWA en un mismo intervalo transmita más información que UMTS lo que se traduce en mayores tasas de transmisión[26][27].

A continuación en la Tabla 4.2 se especifican los tiempos de duración de tramas y supertramas de cada sistema para mostrar la diferencia existente[8][26].

**Tabla 4.2: Comparación de Tramas y Supertramas de MBWA y UMTS**

Parámetro	MBWA Wideband		MBWA 625k-MC	UMTS
	FDD	TDD		
Tasa de Chip	4.9152 Mcps		-	3.84 Mcps
Número de Símbolos OFDM	8		-	-
Duración de Símbolo OFDM	113.93 us		-	-
Duración de Trama PHY	911.46 us		5 ms	10 ms
Tramas por Supertrama	24		20	72
Duración de Supertrama	22.94 ms	Aprox. 24 mx	100 ms	720 ms
Ranuras por Trama	-	-	6	15
Duración de Ranura	-	-	545 us <i>UL</i> 1040 us <i>DL</i>	0.666 us

#### 4.1.4. Capa MAC

A breves rasgos la Capa MAC del estándar IEEE 802.20 incluye funciones de sesión, convergencia, seguridad, y definición de los procedimientos utilizados para las transmisiones y recepciones sobre la Capa Física. Se encuentra formada por seis subcapas dentro de las cuales se implementan varios protocolos que permiten en conjunto que la capa de acceso al medio lleve a cabo sus funciones.

- La Subcapa de Control de Sesión contiene cinco protocolos utilizados para negociar una sesión entre el terminal de acceso y la red de acceso.
- La Subcapa de Convergencia contiene dos transportes y un protocolo portador que tienen la función principal de transportar mensajes y datos entre el terminal de acceso y la red de acceso.
- La Subcapa de Control de Seguridad es la encargada de administrar los procedimientos de seguridad utilizados por los sistemas MBWA. Para asegurar la seguridad esta Subcapa lleva a cabo la función de Intercambio de Claves que es la encargada de proporcionar los procedimientos que siguen tanto la red como la terminal de acceso para el intercambio seguro de claves utilizadas para autenticación y encriptación.
- La Subcapa de Seguridad es la encargada de implementar las características de seguridad en el sistema como la generación de *cryptosync* y la autenticación por medio del intercambio de llaves.
- La Subcapa de Control MAC Inferior controla el estado del enlace de aire por medio de la gestión de los estados en los protocolos individuales de la subcapa MAC Inferior.
- La Subcapa MAC Inferior contiene las reglas para la formación de los paquetes MAC que serán transmitidos sobre un canal de Capa Física, y para la interpretación de los mismos paquetes cuando estos, por el contrario, son entregados desde un canal de Capa Física. Particularmente, la Subcapa MAC Inferior contiene las reglas para gobernar la operación del canal de los canales de tráfico de subida y de bajada; adicionalmente a los canales de datos, esta subcapa controla y procesa los canales de señalización de Capa Física tanto en los enlaces de bajada como de subida[11].

Resumiendo la funcionalidad de todas las subcapas que conforman la Capa MAC podría decirse que esta capa es la encargada de direccionar los mensajes de control y de datos hacia sus respectivos recursos físicos, así como de manejar el acceso de los terminales de usuario a la red, el soporte de *handoff*, la gestión de control de potencia y de QoS, y las características de seguridad.

En los sistemas MBWA la interfaz de aire ofrece la capacidad de soportar múltiples estados de los protocolos MAC con rápidas transiciones entre ellos. Cada uno de estos protocolos generalmente soporta tres estados que son el estado activo, el estado inactivo, y el estado suspendido.

El estado activo se establece cuando el usuario se encuentra utilizando activamente los recursos del sistema para transmitir y recibir datos. Con el objetivo de mejorar la utilización de los recursos del sistema y de proporcionarle una mayor eficiencia, el estado suspendido es iniciado cuando el usuario de manera temporal no se encuentra utilizando el sistema. Por otra parte cuando el usuario móvil se encuentra completamente inactivo es cuando se inicia el estado del mismo nombre.

La definición de los estados de usuario es extremadamente beneficiosa debido a que una cantidad significativa de recursos del enlace de aire relacionados con el control de potencia, con el control de temporización y con las peticiones de tráfico son requeridos para posibilitar a los usuarios el envío y la recepción de tráfico. Si un usuario no se encuentra transmitiendo o recibiendo datos pero sin embargo está conectado activamente al sistema y haciendo uso de los recursos del mismo, ocasiona un gran desperdicio de ellos, y mientras menos recursos del enlace de aire sean consumidos por usuarios individuales una mayor cantidad de usuarios totales podrán ser agregados a una celda en particular con la consiguiente disminución de los costos del sistema tanto para el usuario como para el operador y el incremento de la eficiencia total del sistema.

La interfaz de aire de MBWA está en capacidad de soportar más de 100 usuarios activos por sector en cada celda, y de acuerdo a las pruebas e implementaciones que se han realizado hasta el momento se ha demostrado que con estos 100 usuarios activos concurrentes la velocidad que puede alcanzar cada uno se encuentra entre 1 y 2 Mbps si se hace uso de todo el ancho de banda disponible para el sector. Independientemente de los usuarios que se encuentren activos el número de usuarios en estado inactivo y suspendido puede ser ilimitado.

Para que la transición entre estados pueda ser utilizada efectivamente y para minimizar los efectos de la misma en beneficio de los usuarios, estas transiciones deben ser muy rápidas y dinámicas, tarea que le compete por completo a la capa de acceso al medio.

Un mecanismo para reactivar a los usuarios desde el estado suspendido y llevarlos al estado activo debe ser implementado para que la transición de estados pueda ser posible, este procedimiento es también responsabilidad de la Capa MAC y se conoce como paginación.

En lo concerniente al proceso de *handoff* de Capa 2, la interfaz de aire de MBWA soporta tanto *handoff* inter-celda como inter-sector e inter-frecuencia pero adicionalmente

incorpora un tipo adicional que no era considerado en UMTS ni en otras tecnologías inalámbricas y es el *handoff* inter-RAT que está diseñado para asegurar la coexistencia con otras tecnologías[31].

En UMTS la capa de acceso al medio no es la única que conforma el nivel 2 en la arquitectura de protocolos sino que además de la Capa MAC, la capa 2 de UMTS conocida también como capa de enlace, consta de otras tres subcapas que son la subcapa PDCP, la subcapa BMC y la subcapa RLC, las mismas que fueron descritas oportunamente en el Capítulo correspondiente a esta tecnología.

Todas estas subcapas que conforman la capa 2 de UMTS desempeñan funciones que en MBWA son realizadas por las diferentes subcapas que conforman la Capa MAC de estos sistemas, es decir que si bien es cierto que estas subcapas en UMTS no forman parte de la subcapa MAC como tal, en conjunto llevan a cabo una funcionalidad bastante similar a la de la Capa MAC de MBWA, convirtiendo a la capa de enlace de UMTS en una especie de capa análoga a la MAC definida en el estándar 802.20.

Si se hace una analogía entre las arquitecturas de protocolos de *Mobile Fi* y UMTS, podría decirse que en cierto modo la capa de enlace de UMTS es en definitiva el equivalente de toda la Capa MAC de MBWA, ya que ambas están conformadas por varias subcapas que unidas cumplen las mismas funciones. Es verdad que dentro de la arquitectura de protocolos de UMTS se define a la subcapa MAC como una subcapa más de la capa de enlace, pero esto podría considerarse solamente como una definición de nombre, ya que esta subcapa MAC cumple nada más una parte de las funciones de la capa 2 y el resto de funciones que son comparables a las de la Capa MAC de MBWA son realizadas por las otras subcapas mencionadas.

En conclusión se tiene que la subcapa MAC de UMTS no es el equivalente a la Capa MAC de MBWA, tiene características similares y cumple con algunas de las mismas funciones pero no es equivalente, sino que forma parte de la capa de enlace, la misma que en esencia sí podría considerarse como el equivalente de la Capa MAC de *Mobile Fi*.

Algunas de las funciones de la capa de enlace que son compartidas por la Capa MAC son las siguientes:

- Compresión y descompresión de cabeceras para la construcción de paquetes
- Transferencia de datos de usuario

- Monitorización del volumen de tráfico y petición de recursos de radio
- Gestión, planificación y transmisión de mensajes de asignación y difusión
- Segmentación y re-ensamblaje de paquetes
- Inclusión de bits de relleno
- Retransmisión de datos para la corrección de errores
- Control de flujo
- Asignación y reasignación de recursos de radio y de parámetros MAC
- Reporte de mediciones
- Mapeo de los canales lógicos y de transporte a canales físicos
- Manejo de prioridad de flujo y de prioridad entre equipos[20].

Todas las funciones mencionadas anteriormente son realizadas por las subcapas PDCP, BMC, RLC y MAC en el caso de UMTS y por las subcapas correspondientes en la Capa MAC de MBWA, es decir que se implementan a lo largo de toda la capa de enlace y de toda la Capa MAC para UMTS y *Mobile Fi* respectivamente.

Es muy importante destacar que existe una gran diferencia entre la Capa MAC de MBWA y su equivalente en los sistemas UMTS, y es el hecho de que la Capa MAC especificada en el estándar IEEE 802.20 ejecuta procedimientos y desempeña funciones que resultan de vital importancia para el funcionamiento de cualquier sistema de comunicación inalámbrico, procedimientos y funciones que en el caso de UMTS no le corresponden a la capa 2 sino a la capa inmediatamente superior que es la capa de red.

Más allá de que la capa de enlace y la Capa MAC de los dos sistemas comparten muchas funciones en común, hay otras varias funciones y muy importantes que la capa de enlace no realiza y que son responsabilidad de la capa de red y más específicamente de la subcapa RRC dentro esta capa 3 de UMTS. Estas funciones son:

- El manejo del procedimiento de *handoff* incluyendo la preparación y ejecución del *handoff* entre sistemas que solo permite la interoperación con sistemas GSM y GPRS, a diferencia del *handoff* inter-RAT de MBWA que permite que ese sistema pueda operar en conjunto con muchas otras tecnologías de acceso inalámbricas

- Control de potencia de lazo abierto
- Control de seguridad
- Control de QoS

Estas cuatro funciones que en MBWA son responsabilidad de la Capa MAC, en UMTS son efectuadas por la subcapa RRC de una capa superior; esto se debe principalmente a que en esta tecnología la subcapa RRC es la encargada de gestionar directamente todos los recursos de radio del sistema, y por esta razón es la más idónea para llevar a cabo procedimientos de *handoff*, control de potencia y control de QoS. Obviamente que para su funcionamiento RRC trabaja en conjunto con la capa 2 y recibe de ésta información relacionada con los parámetros que definen estos procedimientos.

#### 4.1.5. Características Adicionales

##### 4.1.5.1. Eficiencia Espectral

La eficiencia espectral es un aspecto fundamental que debe ser considerado en el diseño e implementación de cualquier sistema de comunicación inalámbrico, debido a que el recurso que se utiliza para realizar las transmisiones y recepciones, es decir el espectro radioeléctrico, es un recurso limitado que debe ser utilizado de una manera muy eficiente.

La interfaz de aire de los sistemas MBWA ha sido diseñada para proporcionar una alta eficiencia espectral por medio de una serie de mecanismos y procedimientos que permiten optimizar los recursos y hacer una mejor utilización del espectro. Entre estos mecanismos de optimización de recursos que adicionalmente permiten mejorar las tasas de transmisión se encuentran la utilización de múltiples antenas de transmisión y recepción (MIMO), la pre-codificación, el *beamforming* o formación de haz, y el acceso múltiple por división de espacio (SDMA).

La tecnología *Mobile Fi* soporta técnicas de múltiples entradas y múltiples salidas (MIMO) con el objetivo de incrementar la eficiencia espectral por medio de una multiplexación espacial. La utilización de múltiples entradas y múltiples salidas se refiere al hecho de que se emplean varias antenas efectivas tanto el transmisor como en el receptor, es decir tanto en el punto de acceso como en el terminal de acceso.

En UMTS se maneja el concepto de diversidad de antenas que a su vez permite generar diversidad espacial en el sistema. La diversidad de antenas, tal como se explicó oportunamente, consiste en utilizar más de una antena para realizar las transmisiones y recepciones, es decir que maneja el mismo concepto de MIMO; la gran diferencia radica en dos aspectos principalmente, el primero es que por lo general llegan a utilizarse solamente dos antenas y no varias antenas como en el caso de MIMO, y el segundo aspecto es que la utilización de dos antenas para transmitir y recibir se aplica solamente en las estaciones base y no en los terminales móviles UMTS, por consiguiente la implementación de MIMO no se encuentra definida para sistemas de tercera generación, ni siquiera para evoluciones posteriores como HSPA.

La aplicación de MIMO es una de las características fundamentales de tecnologías inalámbricas de nueva generación, como MBWA y HSPA+, ésta última tecnología es la evolución de HSPA definida en el *Release 7* y considerada como un sistema de 3.9G; aunque la Unión Internacional de Telecomunicaciones ya la ha definido como de cuarta generación en una resolución bastante polémica y discutida que parecería tener un fin más bien comercial, ya que varias de las características técnicas de HSPA+, como la movilidad por ejemplo, no llegan a cumplir con los requerimientos que se encuentran definidos para que una tecnología sea considerada 4G.

A partir de la liberación de las tecnologías HSDPA y HSUPA empezó a considerarse la necesidad de implementar la aplicación de MIMO en las posteriores evoluciones de estos sistemas, pero apenas se cristalizó con la aparición de HSPA+. Esta necesidad obedece sobre todo a los grandes beneficios en términos de eficiencia espectral y de aumento en las tasas de transmisión que la implementación de múltiples antenas ofrece.

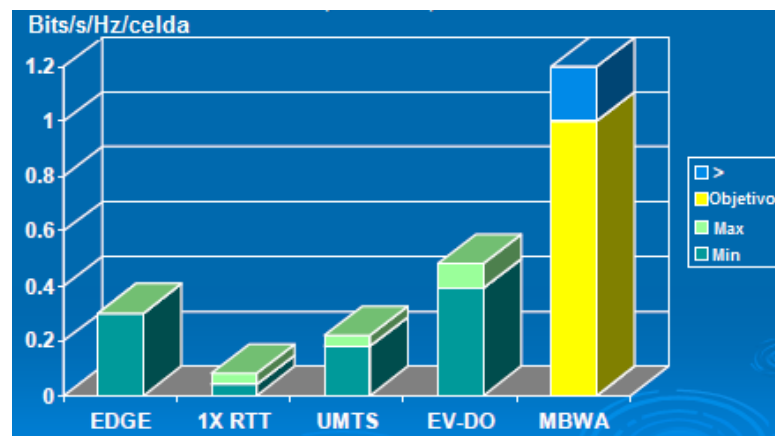
La utilización de la pre-codificación, del *beamforming* aplicable solamente para sistemas TDD, y del acceso múltiple por división de espacio, permite mejorar aún más la eficiencia que se obtiene con MIMO por medio de la formación de una onda de señal reforzada, bien definida y con una mayor ganancia que se construye mediante el desfase en distintas antenas, y de una técnica de transmisión muy avanzada que hace posible que múltiples usuarios sean señalizados y asignados en los mismos recursos de tiempo y frecuencia.

La aplicación de todos estos mecanismos en MBWA se traduce en una eficiencia espectral igual o superior a 1 bit/s/Hz/celda que es muchísimo mayor que la alcanzada en otros sistemas inalámbricos comparables, y que en el caso de UMTS apenas se encuentra en un valor cercano a 0.2 bit/s/Hz/celda. La medición de la eficiencia espectral puede interpretarse

como la cantidad de información por segundo que puede transmitirse utilizando un herzio del espectro disponible en una celda.

La eficiencia espectral determina la capacidad de un sistema inalámbrico para entregar información dentro de una cantidad determinada de espectro de radio relacionada con la capacidad del sistema. Los beneficios que pueden obtenerse al implementar un sistema con una alta eficiencia espectral son: una alta capacidad agregada de todo el sistema, mayores niveles de calidad en los servicios para cada usuario, mayor densidad de suscriptores por estación base, menores requerimientos de espectro, y menores costos de despliegue y operación[31].

La Figura 4.2 muestra comparativamente la eficiencia espectral lograda por MBWA frente a la de otros sistemas[5].



**Figura 4.2: Comparación de Eficiencia Espectral en Sistemas Inalámbricos**

La gran diferencia existente entre las eficiencias de MBWA y UMTS deja en claro los grandes beneficios que se obtienen con la implementación de los mecanismos de MIMO, pre-codificación, *beamforming* y SDMA que se utilizan en *Mobile Fi* pero no en UMTS.

Es importante mencionar también que para una buena utilización del espectro se debe manejar un buen esquema de reutilización de frecuencias. En este aspecto ambos sistemas utilizan un esquema de reutilización universal con un factor igual a 1, es decir que todas las celdas utilizan la misma frecuencia, aunque en MBWA se puede utilizar también un esquema de reutilización fraccional mucho más eficiente que hace posible gestionar las frecuencias con un factor menor a 1.



#### 4.1.5.2. Calidad de Servicio (QoS)

La interfaz de aire propuesta por el estándar IEEE 802.20 para los sistemas MBWA permite tener un soporte de QoS a nivel de capa de enlace entre la red de acceso y el terminal de acceso para los paquetes de datos. Esta interfaz de aire da soporte para servicios de QoS basados en saltos de capa IP y extremo a extremo tales como *Diffserv* utilizado tanto en el modo *Wideband* como 625k-MC y RSVP utilizado solamente en el primero.

Para la implementación de los mecanismos de QoS en MBWA se hace uso de ciertos canales y protocolos que proporcionan la configuración, negociación y ejecución de las políticas de QoS y que hacen posible establecer una diferenciación en las prioridades de petición y acceso para el uso de canales de transmisión por parte de los diferentes usuarios.

El manejo de calidades de servicio en *Mobile Fi* se realiza por separado en cada flujo de paquetes de datos que es enviado, de tal manera que cada flujo puede ser configurado para soportar diferentes requerimientos de tasas de error de bit, de latencias, y de todos los parámetros considerados en la implementación de QoS.

En estos sistemas, todas las peticiones y reservaciones para los requerimientos y atributos de servicio son realizadas por el terminal de usuario, algunas veces por sugerencia de la red de acceso, pero es en definitiva la propia red de acceso la que maneja el control de admisión y la asignación de recursos, y es por ende la que define si la activación o desactivación de QoS es llevada a cabo.

El manejo de las reservaciones, configuraciones o asignaciones de calidades de servicio en los sistemas MBWA es bastante flexible, ya que los parámetros de configuración pueden ser modificados incluso cuando una reservación de recursos ya ha sido autorizada por la red de acceso o aún más cuando una sesión ya ha sido abierta o establecida; es decir que cuando una aplicación determinada se encuentra utilizando una configuración de QoS y por cualquier motivo se requiere una modificación ya sea para asignarle más recursos o para quitárselos, o para variar la prioridad con que accede a la red y transmite, esta modificación es posible de realizar en cualquier momento y sin interrumpir la sesión establecida por medio de una rápida activación en el instante en que se inicia una comunicación de datos.

El planificador de QoS en las estaciones base o puntos de acceso incorpora las capacidades individuales de RF y banda base para cada terminal de usuario, capacidades

que incluyen el manejo de portadoras. En base a esta información el planificador puede hacer cumplir los comportamientos básicos de QoS, como los límites en las tasas de datos individuales, la prioridad para los diversos tipos de tráfico y la partición de recursos entre las diferentes tasas agregadas.

De manera bastante general se habla de tres clases de servicios diferenciados en MBWA, cada una con una diferente prioridad y clase de QoS. Estas tres clases de servicios son:

- Clase de sesión con prioridad 1 y reenvío acelerado, aplicable a servicios en tiempo real como VoIP
- Clase de sesión con prioridad 2 y reenvío asegurado, aplicable a servicios de transmisión de video y para priorización de ancho de banda
- Clase de sesión con prioridad 3 y transmisiones basadas en mejor esfuerzo, aplicable a ciertas transmisiones de datos[8][10].

El manejo de las calidades de servicio en las redes UMTS de tercera generación se realiza de manera un tanto diferente, a pesar de que el objetivo en las mismas es también el de ofrecer QoS de extremo a extremo. La gestión de QoS en las redes de tercera generación se realiza por medio de dos áreas funcionales que son el área de aprovisionamiento de políticas de QoS, encargada de configurar e implementar las políticas de calidades de servicio en sí mismas; y el área de monitorización de QoS, la misma que tiene como función registrar y evaluar el funcionamiento de la primera para determinar si es necesario realizar ajustes en función de los requerimientos, necesidades y recursos de la red.

Al igual que sucede en MBWA, en UMTS, el equipo de usuario o terminal de acceso tiene la capacidad y habilidad para negociar los parámetros de QoS para una portadora de radio en función de sus capacidades y de las necesidades de la aplicación que está ejecutando. El procedimiento de negociación de QoS en UMTS lo realiza la aplicación que envía una solicitud a la red indicándole los recursos que necesita, y al igual que sucede en MBWA, es la red quien verifica si es posible realizar la asignación de dichos recursos para posteriormente entregar los recursos solicitados, ofrecer un conjunto de recursos menor de acuerdo a la disponibilidad, o simplemente denegar la asignación de los mismos y la implementación de las políticas de QoS propuestas por el equipo de usuario.

En realidad pueden encontrarse muchas similitudes en la forma en que se gestionan las políticas de QoS en las dos tecnologías. Una de esas similitudes es la flexibilidad con que se

maneja la negociación, asignación e implementación de QoS, ya que en UMTS también es posible realizar una renegociación de los parámetros mientras una conexión se encuentra activa, siempre y cuando esta renegociación sea necesaria debido a que los requerimientos de la aplicación o el estado de los recursos de la red cambiaron. En el primer caso es el terminal el que solicita el cambio en sus parámetros de QoS, pero siempre es la red de acceso la que define si el cambio puede realizarse o no.

A diferencia de MBWA en donde solamente se definen de manera general tres tipos diferentes de servicios, en UMTS se hace una clasificación mucho más específica de los servicios en función de los requerimientos de QoS que presentan y se los divide en cuatro grupos que son:

- Servicios conversacionales en tiempo real
- Servicios interactivos
- Servicios de *streaming* o flujo
- Servicios en segundo plano[20].

Los servicios conversacionales son los que manejan un tráfico bidireccional y simétrico y se implementan en aplicaciones de voz y video llamada. En este tipo de servicios se debe manejar un retardo muy reducido y constante, y como es obvio, las retransmisiones no están permitidas. Este tipo de servicio sería comparable con el de prioridad 1 en MBWA, con la diferencia de que en este caso no se manejan retransmisiones y el único procedimiento para la corrección de errores es la codificación FEC.

Los servicios interactivos, que son aquellos en los cuales el usuario hace una petición de datos a un servidor remoto y recibe los datos solicitados, como por ejemplo la navegación web; y los servicios de *streaming*, que son los que principalmente soportan transmisiones de audio y video, pueden ser comparables con los servicios de prioridad 2 de MBWA, ya que esta clase está también definida para la transmisión de video y soporta retransmisiones con tiempos de retardo un poco menos estrictos.

Finalmente, los servicios en segundo plano son los que no tienen requerimientos de retardo definidos y que se prestan con recursos reducidos de la red. Estos servicios evidentemente son comparables a los de prioridad 3 en *Mobile Fi*.

Tal como se ha analizado, aunque existen ciertas diferencias en las arquitecturas de QoS que manejan ambos sistemas, la forma en que se gestionan las políticas y la manera en que se configuran, negocian, reservan y asignan los recursos, son bastante similares y en definitiva permiten la implementación de QoS extremo a extremo similares en las dos tecnologías.

#### 4.1.5.3. Seguridad

Debido a sus características y al medio que utilizan para sus comunicaciones las redes inalámbricas tienden a ser menos seguras que las redes cableadas. Dado que los sistemas inalámbricos transportan su información a través del aire, son especialmente vulnerables a interceptaciones no autorizadas en las cuales un tercer participante, aparte de la red y el terminal de acceso, de forma maliciosa pueda tener acceso a la información que está siendo intercambiada dentro de la red.

Los sistemas basados en el estándar IEEE 802.11 en particular han sido criticados por expertos en seguridad debido a la no tan efectiva ejecución de sus medidas de seguridad. Con estos antecedentes, y conociendo que el éxito en el despliegue comercial de MBWA dependerá en gran medida del nivel de seguridad con que cuente el sistema, la especificación 802.20 ha sido diseñada y construida de tal forma que pueda proporcionar mecanismos con un nivel de seguridad óptimo.

La seguridad en los sistemas MBWA está fundamentada en base a tres factores principales que son la protección contra el robo de servicio que va en beneficio del proveedor del mismo, la protección de privacidad para el usuario, y la protección en contra de ataques al servicio.

Tal como se explicó oportunamente, la seguridad en MBWA se implementa por medio de dos procedimientos. Por un lado se encuentra un mecanismo para la autenticación tanto del terminal móvil como de la estación base que es mutuamente acordado entre las dos entidades, y por otro lado se encuentra un método de encriptación que sirve para proteger la privacidad de los usuarios y de los datos.

Para la encriptación *Mobile Fi* incorpora el concepto de *cryptosync* que es una cadena compartida de bits conocida tanto por el transmisor como por el receptor que se utiliza para la encriptación y desencriptación de datos. Este conjunto de bits encriptadores varía obligatoriamente entre un paquete y otro por medio de la aplicación de varios

procedimientos que aseguran que una cadena de este tipo no se utilice más de una vez ni sea duplicada.

AES-128 es el algoritmo que se utiliza para generar la encriptación y se ha escogido debido a que ha sido ampliamente evaluado y probado por expertos en criptografía, los cuales han asegurado que es una buena base para llevar a cabo una encriptación segura y confiable. Es muy importante además decir que este método de encriptación debe ser implementado de tal manera que proporcione un anonimato total de un usuario en particular para protegerlo de cualquier intento ilegítimo de descubrir su identidad. Absolutamente todos los paquetes de datos y de señalización son encriptados en MBWA por medio de este procedimiento. El único flujo de tráfico que no es encriptado es el correspondiente a los mensajes de *overhead* y a los mensajes utilizados para el intercambio de cuatro vías aplicado en la autenticación.

A pesar de su importancia, la encriptación de datos es solamente una pieza de todas las necesarias para realizar una transmisión segura de datos en un ambiente de red. La encriptación es un mecanismo importante para la transmisión segura de datos, pero igualmente importante es que las dos partes, tanto el terminal de usuario como la red de acceso, estén seguras de que el intercambio de datos está siendo realizado con la entidad correcta y no con una entidad equivocada o peor aún con un equipo ajeno a la red que se encuentra accediendo al sistema sin autorización. El proceso que garantiza este hecho es la autenticación y representa la base para la implementación de una red confiable[31].

Un intercambio de claves de cuatro vías es utilizado para derivar una clave de sesión a partir de una clave maestra que es definida para un par de transmisor y receptor. Una vez generada la clave maestra y realizado el intercambio de claves de cuatro vías, se producen dos claves de 128 bits, una que será utilizada para autenticación y otra que junto con el *cryptosync* será utilizada para encriptación.

En cuanto a la autenticación para los sistemas *Wideband* es importante destacar que está basada en la especificación HMAC-SHA256 y que puede ser implementada en dos modos de operación. En el primer modo todos los paquetes deben ser autenticados utilizando una cabecera de autenticación que contiene una firma SHA-256, y en el segundo modo, con el objetivo de reducir el *overhead* producido por la autenticación, solamente se autentican los paquetes relacionados con el acceso del AT al sistema, incluyendo obviamente las peticiones y respuestas de conexión[8].

En el caso de los sistemas 625k-MC la autenticación está basada en la utilización de certificados digitales firmados utilizando el algoritmo RSA como firma básica. El certificado digital contiene información acerca de su propietario y su clave pública. El módulo utilizado por RSA para la generación de firmas varía entre 1024 y 2048 bits.

Para la generación de las claves públicas RSA utiliza una estructura criptográfica de curva elíptica. Aunque este tipo de criptografía es un poco antigua es muy eficiente y está siendo considerada con mucha frecuencia para la implementación de seguridad en sistemas modernos.

La criptografía elíptica es muy eficaz también en términos de la longitud de las llaves que utiliza, ya que con otro tipo de criptografías se recomienda la utilización de llaves de 2048 bits, pero con la encriptación elíptica se puede conseguir un nivel equivalente de seguridad utilizando llaves de solamente 224 bits. Un menor tamaño de llaves se traduce en un menor proceso de cómputo durante la encriptación y desencriptación, lo que a su vez implica ahorro de tiempo y de consumo de potencia[31].

En el caso de UMTS las funciones de seguridad están basadas en las que implementa GSM, pero adicionalmente algunas funciones han sido añadidas y otras mejoradas. El algoritmo de encriptación es más robusto y está incluido en la interfaz que conecta el Nodo B con el controlador de la red de radio RNC, y la aplicación de estos algoritmos es más estricta al igual que la confidencialidad del suscriptor.

Los principales elementos de seguridad que fueron tomados de GSM y acoplados a las redes de tercera generación son la autenticación de suscriptores, la confidencialidad de la identidad del suscriptor, el módulo de identidad de suscriptor SIM removible del *hardware* del terminal móvil, y la encriptación de la interfaz de radio.

Al igual que en MBWA en UMTS se implementan procedimientos de utilización de claves de cifrado y autenticación para realizar las transmisiones, con la diferencia que los mecanismos de seguridad para autenticación y encriptación utilizados en UMTS están basados en EAP y *Radius*.

EAP es un protocolo de autenticación utilizado principalmente en redes inalámbricas especialmente de tecnologías 802.1x y en conexiones punto a punto. En realidad EAP no es un mecanismo específico de autenticación sino una estructura de soporte para la misma y provee algunas funciones comunes y negociaciones para el mecanismo de autenticación

escogido que en este caso es *Radius*. Cuando EAP es invocada por un dispositivo NAS el protocolo provee un mecanismo seguro de autenticación y negocia una llave maestra entre el dispositivo de usuario y el NAS.

EAP fue diseñado para utilizarse en la autenticación para acceso a la red, donde la conectividad de la capa IP puede no encontrarse disponible. Dado a que EAP no requiere conectividad IP, solamente provee el suficiente soporte para el transporte confiable de protocolos de autenticación y nada más. EAP es un protocolo *lock-step*, el cual solamente soporta un paquete en transmisión. Como resultado, EAP no puede transportar eficientemente datos robustos, a diferencia de protocolos de capas superiores como TCP[20].

Además de los procedimientos de autenticación y encriptación para el intercambio de datos entre el terminal de acceso y la red de acceso UMTS define protecciones para el tráfico que circula dentro de la propia red de acceso con el objetivo de robustecer un poco más la invulnerabilidad del sistema.

Al igual que en MBWA en UMTS también se encuentra garantizada la seguridad en contra de interceptaciones y de accesos no autorizados a la red y a sus comunicaciones, así como también la confidencialidad de la identidad del usuario, la confidencialidad de la localización del usuario y la incapacidad de rastreo del mismo.

Es totalmente cierto que los mecanismos de seguridad de UMTS son eficientes y ofrecen garantías tanto en el lado del usuario como en el lado del proveedor de servicio, pero no es menos cierto que los procedimientos y algoritmos utilizados en MBWA son más robustos y ofrecen un nivel de seguridad mayor que el que se puede alcanzar en UMTS, no queriendo decir con esto que las redes 3G sean inseguras sino más bien que la seguridad implementada en *Mobile Fi* se encuentra ya en otro nivel que garantiza la confiabilidad total del sistema al tratarse de una red mucho menos vulnerable.

Sin embargo, existe un aspecto en el cual la seguridad de UMTS podría considerarse superior, y es la seguridad implementada a nivel de usuario en el equipo de acceso por medio de la tarjeta SIM que proporciona una característica de seguridad adicional para la identificación y el acceso, característica que no existe en MBWA.

#### 4.1.5.4. Paginación

En términos generales la paginación es el procedimiento por medio del cual la red de acceso se comunica e inicia una conexión activa con un terminal de acceso que se encuentra suspendido, es decir que no mantiene ninguna sesión activa, de tal manera que el AT se despierte para escuchar el tráfico del enlace de bajada solamente en ciertos intervalos de tiempo previamente negociados y verifica si hay algún mensaje para él.

De acuerdo a esto queda claro que la ventaja principal de la paginación se encuentra en su capacidad para permitir que una estación móvil conserve energía entrando al estado suspendido pero siendo capaz de recibir paquetes entrantes desde la red en caso de ser necesario; esto es especialmente útil para aplicaciones en tiempo real como conversaciones de voz y mensajería instantánea, en las cuales el terminal de acceso necesita responder a los paquetes entrantes en cualquier instante de tiempo.

En la búsqueda de reducir el retardo asociado con el proceso de reactivar un usuario, la interfaz de aire de MBWA ha sido diseñada para tener la capacidad de enviar señales o mensajes de paginación en intervalos que van desde los 50 ms; estos mensajes de paginación deben ser muy breves y no tener una duración mayor a 1 ms, de tal manera que el terminal de acceso que se encuentra suspendido pueda escucharlos de manera muy rápida en un intervalo muy corto de tiempo para posteriormente volver inmediatamente a la suspensión en caso de que la paginación no sea para él. Esto significa que el terminal no se encuentra monitorizando la red durante todo el tiempo sino que lo hace periódicamente en ciertos intervalos de tiempo definidos.

Las características de paginación definidas en *Mobile Fi* son especialmente importantes y útiles cuando se está trabajando con un terminal móvil alimentado por baterías, en cuyo caso, la prioridad es ahorrar tanta energía como sea posible y hacer un uso muy eficiente de la misma, cosa que se logra por medio de la transición al estado suspendido en el cual el consumo de energía se reduce al mínimo pero sin quitarle al terminal de acceso la posibilidad de estar escuchando a la red para comunicarse con ella cuando así lo requiera[31].

Para hacer un ahorro aún más significativo de energía, en los sistemas MBWA, se implementa una línea de tiempo incremental, es decir que los períodos de paginación son pequeños para los primeros ciclos que ocurren inmediatamente después que el AT ha entrado al modo suspendido y posteriormente van incrementándose y son mayores a



medida que el tiempo de suspensión del terminal es mayor.

De acuerdo a esto es fácil deducir que el terminal tiene una mayor rapidez de respuesta en los momentos iniciales después de haber entrado al estado suspendido aunque con el costo de un ligero incremento en el consumo de energía, mientras que, a medida que se encuentra más tiempo en estado suspendido se vuelve menos responsivo y tarda más tiempo en reaccionar pero consume menos energía. Este comportamiento que presenta el terminal es importante para sistemas de datos en donde la red probablemente realizará envíos al AT inmediatamente después de que este ha ingresado al estado suspendido.

Otra característica muy importante de la paginación en MBWA es su capacidad para recuperar rápidamente los mensajes de paginación perdidos por medio de un procedimiento de re-paginación rápida, la misma que garantiza una entrega confiable de *pages* aún cuando el terminal se despierte en un sector distinto de la red.

Todas estas características mencionadas permiten que el procedimiento de paginación y la entrega de mensajes sean confiables y utilicen una baja carga de *overhead*[8].

En los sistemas UMTS el proceso de paginación tiene exactamente la misma función y es la de habilitar desde la red central a la red UTRAN para contactar con un equipo de usuario, para lo cual, un nodo de la red central solicita paginación para un solo equipo de usuario cuando este se encuentra en estado suspendido.

La gran diferencia entre los procedimientos de paginación de ambos sistemas es la complejidad con la que son llevados a cabo. Debido a que la arquitectura de red de UMTS es más compleja que la de MBWA ya que incorpora una red central además de la red de acceso, el procedimiento de paginación también es más complejo en el sentido de que involucra a muchos más elementos de red que tienen que intervenir para que el procedimiento pueda ser llevado a cabo.

En MBWA el proceso de paginación es gestionado por la red de acceso directamente, mientras que en UMTS es un nodo de la red central el que inicia la paginación por medio del envío de un *page* por parte del MSC, el mismo que le posibilita a la red de acceso UTRAN para que se comunique con un determinado terminal de usuario.

El mensaje de paginación incluye todos los parámetros necesarios para la identificación y localización del móvil que se desea paginar y es enviado a cada RNS para que por medio de los nodos B sea enviado al terminal buscado por medio del procedimiento de voceo.

Una vez que el terminal buscado responde al mensaje se inicia una conexión RRC y de esta forma pasa del estado inactivo al estado activo[17].

Una diferencia considerable entre los mensajes de paginación de UMTS y MBWA es que los primeros además de los parámetros exclusivos de paginación incluyen otro tipo de información como por ejemplo si la comunicación solicitada será realizada por medio de un enlace por conmutación de circuitos o por medio de un enlace por conmutación de paquetes dependiendo de las necesidades. La inclusión de este tipo de parámetros hace que los *pages* de UMTS sean más grandes y por consiguiente generen una carga de *overhead* un poco mayor a la que se genera en MBWA; y además el hecho de manejar mensajes con una duración mayor hace que el retardo producido en el proceso de reactivar un terminal sea también mayor.

Debido a que el proceso de paginación es más complejo al involucrar más elementos de red y genera un mayor retardo y carga de *overhead* en el sistema por la mayor complejidad de los mensajes, se puede concluir que el mecanismo de paginación o voiceo de UMTS es menos eficiente que el de MBWA en términos de rapidez y de consumo de recursos en la red y en el equipo.

#### 4.1.5.5. Control de Potencia

El control de potencia está directamente relacionado con los procedimientos que son utilizados en los sistemas de comunicación inalámbricos para controlar la potencia de transmisión del terminal de acceso. Evidentemente que la función principal del control de potencia es la de regular el nivel de potencia con el que se realizan las transmisiones con el objetivo de evitar interferencias y de garantizar que las transmisiones de todos los terminales de acceso lleguen con la misma intensidad a la estación base aún cuando cada transmisión se realiza desde diferentes posiciones y con características de atenuación distintas. Sin embargo, el control de potencia es un mecanismo que ayuda también a gestionar la eficiencia energética del sistema por medio del ahorro de energía.

Es obvio que una transmisión que se realiza con mayor potencia consume una mayor cantidad de recursos energéticos que una transmisión realizada con una potencia menor. En este sentido el control de potencia ayuda a implementar un ahorro de energía en el terminal de acceso al regular la potencia con que se transmite para que no se realicen transmisiones con una excesiva potencia que además de ser innecesaria puede ocasionar interferencias y generar un gran gasto de energía que puede evitarse al transmitir solamente

con la potencia necesaria y nada más.

El control de potencia se convierte entonces junto con el procedimiento de paginación en dos de los métodos más importantes utilizados tanto en MBWA como en UMTS para gestionar la eficiencia energética del sistema y el ahorro de energía del mismo.

La ejecución del control de potencia es tal vez el mecanismo en el que existen más semejanzas entre los dos sistemas, MBWA y UMTS, es más podría decirse que se llevan a cabo prácticamente de la misma manera y que solamente se pueden encontrar ligeras diferencias en ciertos aspectos puntuales.

En las dos tecnologías el control de potencia puede ser llevado a cabo por medio de un control de lazo abierto o un control de lazo cerrado.

En el control de lazo abierto no existe ningún tipo de retroalimentación, y es el propio terminal de acceso el encargado de decidir la potencia con la que va a transmitir. Esta decisión se toma en base a ciertas estimaciones del canal que realiza el terminal en función de los parámetros que conoce como la potencia que se encuentra recibiendo desde la estación base; por lo general la estimación es inversa, es decir que mientras mayor potencia recibe de la estación base, menor es la potencia que utiliza para transmitir y viceversa. Este tipo de control se lleva a cabo para transmitir paquetes muy pequeños y más usualmente para realizar la primera transmisión entre el terminal y la red.

En el control de potencia de lazo cerrado, tal como su nombre lo indica, el proceso recibe una retroalimentación que se realiza desde la estación base hacia el terminal de acceso. En este caso el terminal de acceso envía a la estación base los parámetros necesarios para estimar las condiciones del canal y es la estación base la que decide si es necesario realizar un ajuste de la potencia con la que el terminal se encuentra transmitiendo. Este ajuste puede ser en incremento o en decremento dependiendo de las circunstancias, y es ordenado al terminal por medio de un mensaje que le indica que tipo de ajuste se debe realizar en la potencia y en que niveles.

Los criterios con los que se ordena un ajuste en el nivel de potencia de transmisión son los que se mencionaron anteriormente, es decir que el nivel de potencia utilizado está causando o puede llegar a causar interferencias o que el nivel de potencia de un terminal en particular es excesivo o insuficiente dadas las condiciones de desvanecimiento y de distancia a la estación base.

Todos estos procedimientos de control de potencia son llevados a cabo de igual manera en los dos sistemas, la única diferencia considerable que puede mencionarse es la frecuencia de control de potencia que cada uno de ellos maneja. Mientras que en MBWA los bits de control de potencia son enviados cada seis tramas PHY en una frecuencia resultante de 150 Hz, en UMTS la frecuencia de control de potencia es de 1500 Hz que se genera debido a que en este caso los comandos de control son enviados en cada una de las 1500 ranuras de tiempo que se transmiten en un segundo.

Se puede decir entonces que el control de potencia de UMTS es mucho más rápido que el de MBWA ya que la frecuencia de control de potencia que maneja es diez veces mayor, esto significa que por cada diez comandos de control de potencia que recibe el terminal en UMTS el terminal en MBWA recibirá solamente uno, lo que implica que los sistemas UMTS están posibilitados para realizar ajustes de potencia mucho más rápidos que los que se hacen en *Mobile Fi*. Esta característica es muy beneficiosa aunque también tiene algo en contra y es el hecho de que una mayor cantidad de mensajes genera una mayor carga sobre el sistema, tal vez sea por eso que en MBWA se prefirió evitar mayores cargas en el sistema y se especificó una frecuencia menor, frecuencia que por otro lado de acuerdo a las pruebas realizadas es más que suficiente y apropiada para las condiciones de canal que se manejan en este tipo de sistemas[8][10][20].

#### 4.1.5.6. *Handoff*

El *handoff* es el procedimiento utilizado para transferir el servicio de una estación base a otra, es decir de una celda a otra, o de un punto de acceso a otro cuando el terminal de acceso abandona el área de cobertura de un sector o de una celda e ingresa al área de cobertura de otro sector o celda respectivamente.

Obviamente que existen diferencias en la forma en que el procedimiento de *handoff* es gestionado dentro de la red de MBWA y UMTS, y sería demasiado largo e infructuoso describir todas las diferencias de procedimiento que existen, razón por la cual en esta sección solamente se mencionarán los aspectos principales y generales que pueden ser objeto de comparación entre las dos tecnologías.

Una de las características principales del *handoff* que se lleva a cabo en los sistemas MBWA es el soporte de un *handoff* rápido que busca introducir un procedimiento con un impacto mínimo o inexistente en el servicio sobre todo para aplicaciones que son demasiado sensibles al retardo o que se están ejecutando en escenarios con una alta movilidad a

velocidades elevadas. Para llevar a cabo este procedimiento de *handoff* rápido se utiliza un *overhead* de señalización muy reducido que permita agilizar el proceso sin producir cargas excesivas en el sistema que ocasionarían una ralentización del mecanismo.

Con el objetivo de continuar con las transmisiones de datos de manera ininterrumpida al momento de cambiar a otro sector de servicio dentro de la misma celda o a otra estación base perteneciente a otra celda, el procedimiento de *handoff* se lleva a cabo de tal manera que la conexión con el sector de servicio y estación base actuales no se libera hasta que la nueva conexión con el sector o estación base escogidos para el intercambio haya sido establecida por completo. Este mecanismo conocido en MBWA como *make before break* permite que no exista ninguna pérdida de paquetes mientras se ejecuta el *handoff* con la consecuente garantía para el usuario de que no existirá ninguna interrupción ni siquiera mínima en el servicio ni tampoco ninguna degradación en la calidad del mismo.

Al decir que el *handoff* rápido en MBWA se ejecuta de tal manera que la conexión existente no se libera hasta que la nueva conexión se establezca, se está asumiendo que en realidad lo que se ejecuta es un *soft handoff* o incluso un *softer handoff* dependiendo de las características.

El *soft y softer handoff* son dos de los tres tipos de *handoff* definidos en UMTS. El *handoff* suave es el que se realiza exactamente de la misma forma en que se hace en *Mobile Fi*, es decir que antes de suspender el enlace activo el equipo de usuario establece por completo el nuevo enlace, de tal manera que un instante dado se tienen dos enlaces activos durante la transición; y el *softer handoff* no es más que una transición con las mismas características pero que se lleva a cabo entre diferentes sectores pertenecientes al mismo nodo B.

En definitiva el *handoff* rápido de los sistemas MBWA funciona exactamente igual y tiene las mismas características que los procedimientos *soft y softer* de UMTS, es decir que los engloba en uno solo.

El tercer tipo de *handoff* especificado para UMTS, y que es el que se ejecuta por defecto en los sistemas inalámbricos de tercera generación, es el *hard handoff* en el cual el enlace activo es liberado un instante antes de que se establezca la nueva conexión, es decir que solamente existe un enlace activo a la vez e inevitablemente habrá un instante de tiempo en el cual no existe ningún enlace hasta que la conexión con la nueva celda termine de establecerse.

Evidentemente que se trata de reducir al máximo el tiempo de pérdida del enlace, pero por más pequeño que sea, involucra milésimas de segundo en las cuales se puede degradar la calidad del servicio en el terminal que se encuentra haciendo la transición, cosa que no sucede en MBWA debido a que en estos sistemas en ningún caso se ejecuta un *handoff* en el cual se elimine la conexión activa antes de que el cambio esté finalizado.

Un caso en el que obligatoriamente tiene que ejecutarse un procedimiento de *hard handoff* en UMTS es cuando se realiza un cambio en la portadora de radio, es decir cuando se produce un *handoff* inter-frecuencia, debido a que los procedimientos establecidos para el *soft handoff* no logran soportar este tipo de transición; cosa que no sucede en MBWA en donde incluso este tipo de cambio es efectuado por medio de un *handoff* rápido que como se mencionó anteriormente es equivalente al *soft*.

Cualquiera sea el tipo de *handoff* que se ejecute en cualquiera de las dos tecnologías, la gestión del procedimiento se hace en todos los casos utilizando el *active set* que es una lista de todos los sectores pertenecientes a todas las celdas que pueden ser considerados como candidatos potenciales para ser elegidos en el caso de la ejecución de un *handoff* en un terminal determinado. Los terminales manejan también otras listas que contienen sectores y celdas adicionales que en ciertos casos podrían ser considerados y otras con sectores que muy difícilmente serían tomados en cuenta para realizar un cambio; y aunque con diferentes nombres estas listas auxiliares para el procedimiento se manejan también en los dos sistemas.

Finalmente en lo concerniente a este mecanismo muy importante dentro del funcionamiento de la red, solo resta mencionar al *handoff* inter-RAT o inter-tecnologías de acceso de radio.

Si bien es cierto que en UMTS se utiliza un *hard handoff* para que el terminal pueda hacer una transición de redes UMTS a GSM y viceversa, no se puede decir que en estos sistemas se implemente el concepto de *handoff* inter-RAT de la misma forma que en MBWA, ya que el *handoff* entre sistemas 2G y 3G es soportado casi por obligatoriedad ya que el uno es la evolución del otro, e incluso ciertos elementos de red de GSM forman parte también de UMTS debido a que el despliegue de 3G se hizo a partir de las redes GSM existentes. Además UMTS no define ningún procedimiento para su interfuncionamiento con otra tecnología de radio de que no sea GSM.

En consecuencia podría decirse que UMTS no da soporte para un *handoff* que permita

que el terminal establezca una conexión con un sistema basado en otra tecnología de acceso, a diferencia de MBWA en donde el *handoff* inter-RAT para el acceso a varias tecnologías de radio sí se encuentra plenamente definido en las especificaciones del estándar. Obviamente para que este tipo de transiciones puedan llevarse a cabo el terminal debe tener la capacidad de ejecutar los procedimientos definidos por *Mobile Fi* para estos casos, como *Tune Away* que es el mecanismo diseñado en el estándar 802.20 para la implementación de *handoffs* inter-frecuencias e inter-RAT[8][26][29].

## 4.2. Comparación de Requerimientos de Sistema, Aplicaciones y Servicios

### 4.2.1. Requerimientos de Sistema

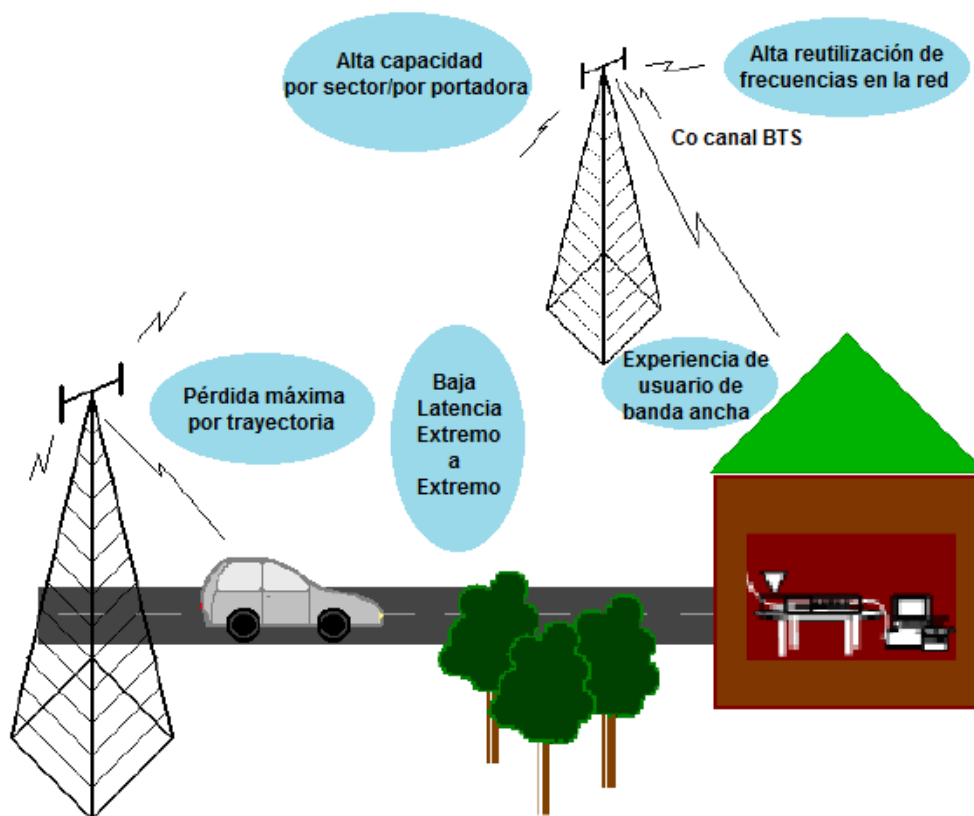
Los requerimientos de sistema para los sistemas de acceso inalámbrico de banda ancha móvil (MBWA) se encuentran especificados de tal manera que cumplan con los objetivos del alcance y las características técnicas definidas en el documento de Visión y Alcance del Estándar IEEE 802.20 que es en definitiva el que marca los lineamientos generales bajo los cuales se desarrolló esta tecnología. A continuación se realizará una breve descripción de los requerimientos que deben ser considerados en los sistemas MBWA para que su funcionamiento sea acorde a las especificaciones técnicas del estándar 802.20.

Para recordar brevemente el alcance y los objetivos del estándar establecen que el mismo define la especificación para las capas física y de control de acceso al medio de una interfaz de aire para sistemas interoperables de acceso inalámbrico de banda ancha móvil que operen en bandas licenciadas por debajo de los 3.5 GHz, y que se encuentren optimizados para el transporte de datos IP, con tasas de datos pico por usuario por encima de 1 Mbps. El sistemas debe además soportar varias clases de movilidad vehicular con velocidades que superen los 250 Km/h en un ambiente de red MAN y garantizando buenos objetivos de eficiencia espectral, de tasas de datos de usuario sostenidas, y de número de usuarios activos, el mismo que debe ser significativamente mayor que el soportado por sistemas móviles existentes.

Para esto los sistemas MBWA incorporan una Capa Física (PHY) y una Capa de Control de Acceso al Medio (MAC) que están basadas en el estándar 802.20 y que garantizan que un terminal de acceso pueda comunicarse con un punto de acceso por medio de la interfaz de aire y que además le proporcionan interfaces hacia redes externas con las cuales puede también operar.

La interfaz de MBWA basada en 802.20 debe ser optimizada para servicios inalámbricos de datos de alta velocidad basados en IP y debe incorporar un rendimiento mejorado con respecto al de otros sistemas similares utilizados en redes móviles de área extensa como UMTS. De manera general la interfaz de aire debe ser diseñada para proporcionar los mejores atributos de desempeño incluyendo tasas de datos pico y sostenidas, eficiencias espectrales, capacidades mejoradas, bajas latencias y gestiones eficientes en calidades de servicio. En este tipo de sistemas también se encuentra definida la posibilidad de soporte de aplicaciones de tipo cliente - servidor que requieran que el terminal de acceso sea el encargado de asumir las funciones de servidor sin limitarse a ser solamente un cliente en todos los casos.

En funcionamiento, los sistemas MBWA proporcionan un acceso inalámbrico de banda ancha móvil ubicuo, es decir que ofrece conectividad en cualquier lugar tanto en escenarios interiores como exteriores y sin la necesidad de contar con una línea de vista entre el terminal y el punto de acceso a la red[32].



**Figura 4.3: Requerimientos de Sistema de MBWA**

Como se mencionó anteriormente, uno de los principales requerimientos del sistema



es soportar la entrega eficiente de tráfico IP bidireccional y paquetizado, ofreciendo un comportamiento consistente y comparable con el de una red IP cableada aún cuando puede soportarse una movilidad a altas velocidades. Algunos de los atributos y requerimientos de sistema considerados para la prestación de servicios en los sistemas MBWA se muestran en la Figura 4.3[32].

En los párrafos siguientes se mencionará de manera breve los requerimientos definidos para los sistemas MBWA tomando las principales características de funcionamiento. La descripción será muy breve debido a que cada una de esas características han sido analizadas ampliamente a lo largo del presente trabajo.

En lo concerniente a la eficiencia espectral, se había dicho que debe garantizarse por lo menos 1 bit/s/Hz/sector, pero en realidad la eficiencia llega a ser mayor y en ciertas condiciones puede alcanzar incluso el doble del valor indicado.

En la Tabla 4.3 se muestran algunos de los valores de eficiencia espectral requeridos en el sistema para ciertas velocidades en caso de existir movilidad tanto peatonal como vehicular, con la consideración de que esos valores son los mínimos garantizados en cada caso y de que para mayores velocidades a las indicadas la eficiencia espectral disminuirá de manera gradual[32].

**Tabla 4.3: Requerimientos de Eficiencia Espectral de MBWA**

Parámetro	Requerimientos de Eficiencia Espectral			
	<i>Enlace de Bajada</i>		<i>Enlace de Subida</i>	
	3 Km/h	120 Km/h	3 Km/h	120 Km/h
<i>Eficiencia Espectral (bit/s/Hz/sector)</i>	2.0	1.5	1.0	0.75

Al encontrarse soportados tanto el modo de duplexación por división de tiempo (TDD) como el modo de duplexación por división de frecuencias (FDD), se especifican bloques de asignación de frecuencias específicos para cada caso. Los bloques de asignación recomendados para el despliegue de sistemas MBWA se muestran en la Tabla 4.4[32].

**Tabla 4.4: Tamaño de los Bloques de Asignación en MBWA**

<b>Asignaciones FDD</b>	2 x 1.25 MHz 2 x 2.5 MHz 2 x 5 MHz 2 x 10 MHz
<b>Asignaciones TDD</b>	2.5 MHz 5 MHz 10 MHz 20 MHz

Para poder hablar de un sistema de banda ancha móvil, éste debe ofrecer tasas de transmisión que superen por lo menos 1 Mbps, valor que es precisamente el mínimo que debe ofrecer un sistema MBWA a cada uno de sus usuarios de acuerdo a las especificaciones del estándar 802.20. En realidad las tasas de transmisión pico que llegan a alcanzarse en estos sistemas superan ampliamente ese requerimiento mínimo tal como puede observarse en la Tabla 4.5, en la cual se muestran los valores pico de las tasas de transmisión para canales típicos de 1.25 y 5 MHz de ancho de banda[31].

**Tabla 4.5: Requerimientos de Tasas de Transmisión en MBWA**

<b>Parámetro</b>	<b>Ancho de Banda</b>	
	<b>1.25 MHz</b>	<b>5 MHz</b>
Tasa de datos pico por usuario (DL)	$\geq 1$ Mbps	$\geq 4$ Mbps
Tasa de datos pico por usuario (UL)	$\geq 300$ Kbps	$\geq 1.2$ Mbps
Tasa de datos pico agregada por celda (DL)	$\geq 4$ Mbps	$\geq 16$ Mbps
Tasa de datos pico agregada por celda (UL)	$\geq 800$ Kbps	$\geq 3.2$ Mbps

De acuerdo a los valores presentados en la Tabla 4.5, se puede concluir que las tasas pico ofrecidas al usuario se escalan de acuerdo al ancho de banda disponible en la estación base, y que esas mismas tasas pueden llegar a disminuir dependiendo de varios factores de la red.

Un requerimiento muy importante de la Capa MAC es que debe ser capaz de admitir y controlar más de 100 sesiones activas de usuario simultáneamente en un sector. Una sesión activa es una conexión establecida entre un terminal de acceso y la red de acceso que permite que un usuario pueda transmitir y/o recibir datos con un retardo mínimo en

el intercambio de información.

Cuando se mantiene una sesión activa, el usuario debe disponer de un canal de portadora de radio con un retardo menor a 25 milisegundos. La disponibilidad de los canales para la transmisión durante una sesión activa debe encontrarse totalmente garantizada para todos los usuarios que se encuentren conectados a un sector aún cuando ese sector se encuentra operando en la totalidad de su capacidad. Evidentemente que algunas aplicaciones ejecutándose en ciertos terminales de acceso tendrán un tratamiento prioritario con el fin de cumplir con las especificaciones de QoS.

Todos los requerimientos mínimos que se han mencionado hasta el momento deben estar asegurados para todos los usuarios independientemente del número de usuarios activos en una celda, pero se debe mencionar que mientras menos usuarios activos existan dichos requerimientos podrán ser superados significativamente. El número de usuarios asociados pero inactivos que se puede manejar en una celda es ilimitado y no causa ninguna carga sobre el sistema[32].

Los sistemas MBWA deben soportar los medios que permitan activar QoS extremo a extremo a nivel de enlace entre el punto de acceso y el terminal de acceso. Este soporte de calidades de servicio debe ser considerado de manera obligatoria tanto para resoluciones en aplicaciones de IPv4 e IPv6.

La interfaz de aire diseñada por 802.20 define la implementación de una arquitectura de servicios diferenciados que es compatible con otros estándares de redes IP móviles y que se encuentra basado en el modelo de QoS *Diffserv*.

Para la inclusión de las calidades de servicio el sistema debe manejar la configuración de una variedad bastante flexible de clases de tráfico, cada una con diferentes exigencias y límites en los valores definidos para latencias, tasas de error de paquete, etc.; esto con el fin de cumplir los requerimientos de QoS para cada usuario y para cada aplicación específica.

MBWA debe permitir la definición de grupos de tráfico por parte del operador del sistema en términos de atributos de calidad de servicio. Estos atributos de calidad de servicio que son considerados son los siguientes:

- Tasas de datos
- Latencia

- Tasas de error de paquete
- Variación de retardo[32].

De acuerdo a las especificaciones del estándar IEEE 802.20, los sistemas MBWA deben incluir la utilización de múltiples antenas tanto en el punto de acceso como en el terminal de acceso, aunque la utilización de múltiples antenas en el terminal de acceso podría considerarse de manera opcional. Muchas de las características y prestaciones de MBWA que se han descrito a lo largo del presente trabajo son posibles siempre y cuando la utilización de MIMO se encuentre desplegada en el sistema, es decir que múltiples antenas se utilicen tanto en el punto como en el terminal de acceso. En el caso de utilizar varias antenas solamente en las estaciones base algunos parámetros de sistema, como por ejemplo la tasa de transmisión pico, podrían variar por obvias razones.

Los requerimientos de seguridad en MBWA deben proteger al proveedor en contra de un posible robo de servicio y brindar seguridad en todos los ámbitos posibles al usuario. Para mantener la privacidad y conservar la integridad de los datos, el sistema debe ofrecer un procedimiento de autenticación tanto en el transmisor como en el receptor, por medio de un intercambio de claves mutuamente acordadas y basadas en AES-128 que tendrá como objetivo la identificación antes de recibir una autorización para acceder a la red y comunicarse con ella.

Para proteger el tráfico de datos de usuario y mensajes de señalización de una divulgación o interceptación no autorizadas, el procedimiento de encriptación de todos los datos que viajan a través de la interfaz de radio también se encuentra plenamente establecido[32].

En lo concerniente a los requerimientos de sistema necesarios para la implementación y operación de un sistema UMTS se pueden mencionar los siguientes.

Un requerimiento clave definido para UMTS es la eficiencia espectral que permita la mezcla de servicios de diferentes portadoras, para lo cual se ha propuesto que el valor de dicha eficiencia espectral sea de al menos entre 0.2 y 0.3 bits/s/Hz/sector, siendo la mayor eficiencia espectral alcanzada cuando se transmite con velocidades superiores a los 100 Kbps[17].

Si bien es cierto que las especificaciones de UMTS definen a la eficiencia espectral de esos sistemas como bastante buena, resulta muy evidente que los valores promedio y máximos de este parámetro que son alcanzados en MBWA son mucho mayores y dejan de

manifiesto que la interfaz de aire 802.20 permite hacer una utilización mucho más eficiente de los recursos radioeléctricos. Una eficiencia espectral comparable a la de MBWA es la que se obtiene en las evoluciones posteriores a UMTS, HSDPA y HSUPA, las mismas que de acuerdo a sus especificaciones técnicas permiten mejorar la eficiencia de UMTS en factores de 3 y 3.5 veces.

Al igual que MBWA, UMTS plantea la posibilidad de mantener una conexión siempre activa tal como sucede en la banda ancha cableada, es decir que UMTS ofrece una conexión permanente a Internet, de modo que los usuarios no tienen que conectarse cada vez que necesitan el acceso, y pueden recibir servicios de notificaciones, en tiempo real.

Si bien puede decirse en lo concerniente a disponibilidad que UMTS ofrece condiciones de conectividad comparables a la banda ancha cableada, en cuanto a velocidad sí existen grandes diferencias, ya que los sistemas UMTS en la práctica ofrecen tasas de transmisión mucho menores y que no pueden ser consideradas de banda ancha.

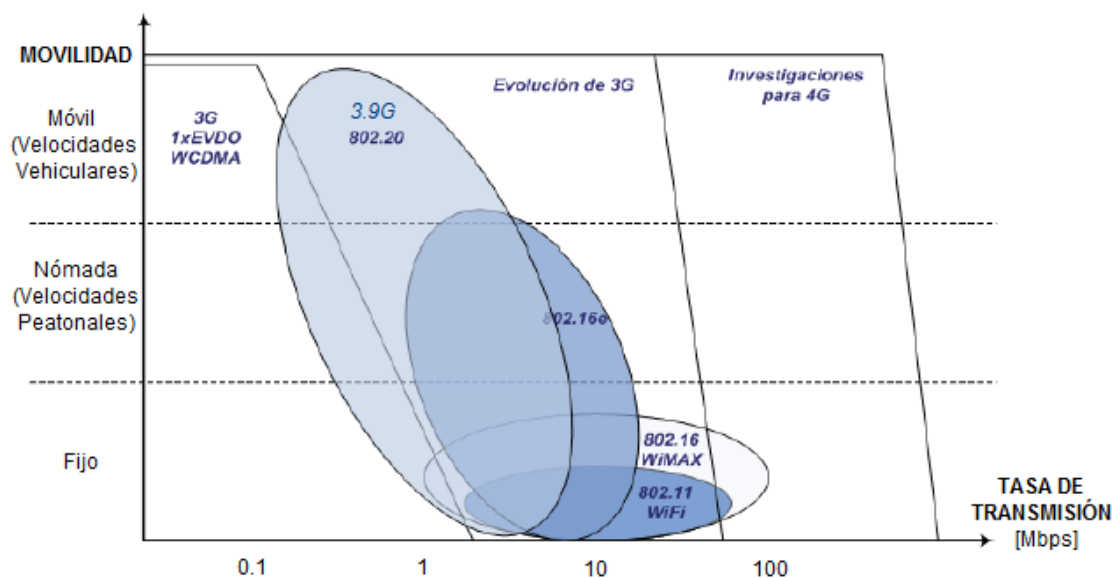


Figura 4.4: Requerimientos de Tasas de Transmisión y Movilidad en Sistemas de Acceso por Radio

Aunque de acuerdo a sus requerimientos técnicos UMTS debería encontrarse en capacidad de alcanzar tasas pico de 2 Mbps en condiciones de cero movilidad, esas tasas no se llegan a cumplir sino que se manejan solamente velocidades de transmisión de hasta 1 Mbps; siendo las velocidades promedio de entre 220 y 320 Kbps, las mismas que si bien es cierto hacen posible disponer de una amplia gama de servicios de datos, no permiten que los sistemas 3G puedan ofrecer de velocidades de banda ancha[26].

La Figura 4.4 presentada anteriormente muestra un esquema comparativo de los requerimientos de velocidad de transmisión con respecto a los requerimientos de movilidad en varios sistemas de acceso de radio incluyendo obviamente MBWA y UMTS[33].

En términos teóricos se ha definido que un sistema UMTS debe tener la capacidad de manejar un promedio de 100 llamadas de voz simultáneamente y una cantidad similar de sesiones simultáneas de datos en un canal típico de 5 MHz. Este valor de sesiones activas que puede gestionar el sistema de manera simultánea es bastante similar al que se plantea en los requerimientos de un sistema MBWA, pero dado que la eficiencia espectral de los sistemas basados en el estándar 802.20 es mayor, se debe suponer que la cantidad de sesiones activas que el sistema puede soportar es también mayor.

De hecho en la práctica se puede constatar que la gestión de sesiones activas en un sistema UMTS no cumple con los requerimientos y no es tan eficiente como se plantea en teoría, siendo esta constatación posible cuando en situaciones cotidianas en las que hay una gran cantidad de usuarios tratando de acceder a la red, los servicios de los operadores móviles del país que son prestados con una infraestructura de red UMTS colapsan y hacen imposible una comunicación ya sea de datos, de voz o de mensajes de texto.

El despliegue de un sistema UMTS debe realizarse con requerimientos muy específicos en lo que se refiere al control de calidades de servicio, para lo cual se incluye sofisticados mecanismos de QoS, con lo que se asegura que cada tipo de servicio de datos recibe exactamente la cantidad de espectro y recursos de infraestructura que necesita. Por ejemplo, a un servicio de *streaming* de video se le asignaría suficiente ancho de banda para que la imagen sea estable y de calidad, ancho de banda que sería necesariamente mayor que uno asignado para una aplicación simplemente de mensajería instantánea.

De manera general los requerimientos de sistema de UMTS en lo que respecta a calidades de servicio incluyen las características necesarias para una prestación de QoS extremo a extremo y con un soporte de servicios diferenciados.

Muchas de las ventajas que presenta MBWA con respecto a UMTS, tales como la mayor eficiencia espectral y las mayores tasas de datos de usuario, se deben a la utilización de múltiples antenas para transmitir y recibir datos que se encuentra plenamente soportada en MBWA pero no un UMTS, y es que la utilización del mecanismo MIMO no es un requerimiento de sistema que se encuentre definido para UMTS tal y como se mencionó en secciones anteriores.

Finalmente en lo que respecta a los requerimientos de seguridad, básicamente lo que debería implementarse en este tipo de sistemas son mecanismos que permitan garantizar por un lado que el proveedor no sea susceptible a robos de servicio, y por otro lado, que tanto los datos como la identidad del usuario sean plenamente resguardados para precautelar su integridad y evitar intercepciones o accesos no autorizados a dicha información.

Con estos objetivos, los sistemas UMTS incorporan los mismos principios de seguridad utilizados en GSM pero lógicamente mejorados y fortalecidos con una implementación de algoritmos de seguridad más complejos basados en *Radius* y *EAP*.

Al igual que en MBWA, y en la mayoría de sistemas inalámbricos modernos, en UMTS es obligatorio el uso de algoritmos de encriptación para proteger la privacidad e integridad de la información que se transporta por medio de la interfaz de aire; así como de procedimientos de autenticación que permitan asegurar que solamente terminales de acceso, y en general equipos autorizados, puedan acceder a la red y a la información que posee.

Si bien es cierto que los requerimientos de seguridad exigidos en los sistemas MBWA son más rigurosos que los que se indican para UMTS y ofrecen por ende un nivel de seguridad más difícil de vulnerar, es verdad también que la gestión de seguridad en UMTS es confiable y adecuada para la mayoría de aplicaciones que un usuario común puede utilizar.

Estos son pues en términos generales los principales requerimientos de sistema que pueden definirse para la implementación tanto de sistemas MBWA basados en la interfaz de aire 802.20 como de sistemas UMTS de tercera generación basados en WCDMA.

#### **4.2.2. Requerimientos Espectrales**

La interfaz de aire del estándar IEEE 802.20 utilizada en MBWA debe soportar la implementación en bandas de frecuencia TDD o FDD en el espectro licenciado por debajo de los 3.5 GHz y asignado para la prestación de servicio móvil de acuerdo a las regulaciones existentes en cada país.

El plan de frecuencias de los sistemas MBWA debe incluir tanto canales en la banda pareada como canales en la banda no pareada con múltiples anchos de banda que pueden ser de cualquier valor, pero que nominalmente se considerarán de 1.25, 2.5, 5, 10 y 20

MHz, tal y como se mostró en la Tabla 4.4 que contiene los diferentes tamaños de los bloques de asignación que se pueden manejar en *Mobile Fi*.

El objetivo de desplegar el sistema con esos anchos de canal nominales es el de permitir su coexistencia con otros sistemas celulares existentes, tal como UMTS que maneja por ejemplo una canalización de 5 MHz.

El objetivo primordial de los requerimientos espectrales de MBWA es el de hacer que los anchos de banda de canal utilizados sean consistentes con los planes y asignaciones de frecuencia utilizados por otros sistemas inalámbricos de área extensa que se encuentran ya implementados.

Por sus características *Mobile Fi* permite que el ancho de banda definido para la canalización sea flexible y que no necesariamente los canales deban tener un ancho de banda estandarizado e inamovible, sino que el ancho de los canales puede ser definido de acuerdo a las necesidades del sistema y a la disponibilidad del espectro; es por esta razón que el diseño de sistemas MBWA debe permitir que los canales sean extensibles en ancho de banda para que esa extensión pueda ser llevada a cabo en el futuro si fuera el caso[32].

En cuanto a los requerimientos espectrales, un caso especial de MBWA lo constituyen los sistemas 625k-MC que manejan múltiples portadoras de 625 KHz de ancho de banda; las mismas que son agregadas sobre el canal para su transmisión. Debido a este concepto de agregación de múltiples portadoras, el ancho de banda total de canal dependerá del número de portadoras que se agreguen sobre el mismo.

Típicamente se habla de una agregación de 4 portadoras por canal, la misma que daría como resultado canales de 2.5 MHz tanto para el enlace de subida como de bajada porque hay que recordar que los sistemas 625k-MC solamente soportan el modo de operación TDD.

Esta canalización de 2 x 2.5 evidentemente sería comparable con una canalización de 5 MHz en el modo FDD, y esto se debe básicamente a que la canalización de 5 MHz es la que más se ha considerado para definir las especificaciones de MBWA, y es la que seguramente se utilizaría en una implementación de estos sistemas.

Para sistemas 3G, el total de ancho de banda está dividido entre los modos FDD y TDD.



La banda pareada está asignada para el modo FDD y la banda no pareada que es más pequeña está asignada para el modo TDD. Para la asignación del espectro designada por la Unión Internacional de Telecomunicaciones se definen tres regiones para el modo FDD y una sola para TDD.

La Región 1 incluye a África, Europa y el norte de Asia; la Región 2 incluye a Norte y Sur América, por lo que es la región de interés para Ecuador; y finalmente, la Región 3 incluye el sur de Asia y Australia.

Las bandas de frecuencia asignadas para cada región se muestran en la Tabla 3.2 presentada oportunamente en el Capítulo 3.

De acuerdo a esta estandarización los sistemas UMTS pueden ser desplegados en las bandas de frecuencia comprendidas entre los 1850 y 1990 MHz con un total de ancho de banda disponible de 120 MHz, aunque es importante mencionar que estas bandas son definidas en las especificaciones y recomendaciones para el sistema, pero cada país puede definir sus propias bandas de frecuencia para la implementación de sistemas 3G.

El espaciado nominal entre canales es de 5 MHz, por lo que en las bandas pareadas, con un ancho de banda de 60 MHz en cada una, se dispone de un total de 12 portadoras para cada enlace; mientras que en las bandas no pareadas utilizadas para TDD al disponerse de un ancho de banda total de 35 MHz se puede contar con un total de solamente 7 portadoras.

En las bandas pareadas del modo FDD generalmente a los operadores se les asigna 2 x 15 MHz de espectro, lo que les proporciona 3 portadoras de frecuencia para utilizar, a diferencia de las bandas no pareadas en las cuales se les asigna solamente 5 MHz de espectro correspondiente a un solo canal[20][26].

### 4.2.3. Servicios

UMTS posee muchas aplicaciones, y estas a su vez se encuentran definidas dentro de los servicios de UMTS que están divididos en tres clases principales que son:

- Servicios básicos de telecomunicación que incluyen servicios portadores y teleservicios
- Servicios suplementarios

- Servicios de valor añadido o agregado

A pesar de que se las está catalogando como clases de servicios propias de UMTS, las tres clases mencionadas anteriormente corresponden a servicios de telecomunicaciones que pueden ser implementados en realidad en cualquier sistema de acceso de radio con la finalidad de satisfacer las necesidades de comunicación del usuario final. La estructura y el alcance de estos diferentes tipos de servicios de telecomunicaciones implementados en una red UMTS se muestran en la Figura 4.5 [25].

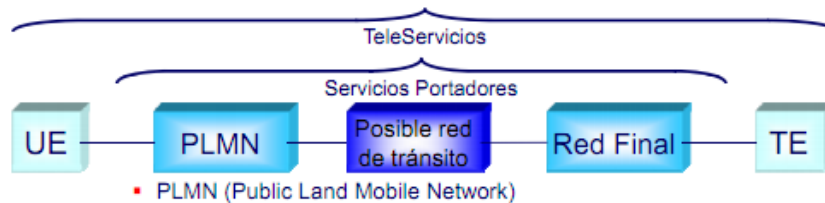


Figura 4.5: Tipos de Servicios de Telecomunicaciones implementados en UMTS

#### 4.2.3.1. Servicios Básicos de Telecomunicaciones

##### Servicios Portadores

Los servicios portadores son los que proveen la capacidad para la transferencia de información entre puntos de acceso. El enlace de comunicación puede esparcirse sobre diferentes redes, tales como Internet, Intranet, LANs y ATM.

Los servicios portadores pueden ser de dos tipos: servicios por conmutación de circuitos y servicios por conmutación de paquetes.

- Los servicios portadores de datos por conmutación de circuitos son proveídos para trabajar con redes PSTN/ISDN. Estos servicios portadores operarán con la mínima pérdida de datos en *handoff* cuando sea necesario este procedimiento para realizar el cambio de una tecnología de acceso a otra.
- Los servicios portadores de datos por conmutación de paquetes en cambio son ofrecidos para trabajar con redes de paquetes, tal como redes IP.

De manera general la negociación de atributos de servicios de portadora tales como la velocidad de bit, retardos, modos de comunicación en tiempo real o no real, se caracteriza

porque debe ser flexible; y cada servicio de portadora debe ser mapeado a uno o más canales lógicos de la interfaz de radio para que puedan ser transmitidos sobre ella[25].

### **Teleservicios**

Los teleservicios son servicios de telecomunicaciones que proveen la capacidad de comunicación completa, incluyendo las funciones de los equipos terminales, para que pueda establecerse una comunicación entre usuarios de acuerdo a protocolos establecidos por un acuerdo entre operadores de red.

En términos comunes, podría decirse que los teleservicios son todos aquellos servicios básicos de telecomunicaciones que hacen posible que los usuarios puedan acceder a las aplicaciones más frecuentes de un sistema de comunicaciones como llamadas de voz, envío y recepción de mensajes, transmisión de datos, etc.

Algunos de los teleservicios que son propios de redes de tercera generación y que obviamente pueden ser implementados en sistemas inalámbricos más sofisticados, como MBWA, son los siguientes:

- Transmisión de audio y video
- Servicios de difusión
- Peticiones a bases de datos
- Transmisión de datos
- Servicios de navegación y localización
- Correo electrónico
- Servicios de acción remota para el control de equipos
- Tele compra
- Monitorización de video
- Videollamada
- Videoconferencia
- Servicios multimedia interactivos[25].

#### 4.2.3.2. Servicios Suplementarios

Los servicios suplementarios son aquellos que modifican o complementan un servicio básico de telecomunicaciones, entendiéndose por servicios básicos tanto los servicios portadores como los teleservicios descritos anteriormente.

Algunos de los servicios que podrían incluirse dentro de esta clase son:

- Identificación de número para marcación abreviada, rechazo de llamadas, identificación de grupos de llamadas
- Re direccionamiento de llamadas y llamadas en espera
- Comunicaciones múltiples para llamadas entre grupos cerrados de usuarios
- Restricción de llamadas entrantes y salientes[25].

#### 4.2.3.3. Servicios de Valor Agregado

Los servicios de valor agregado son servicios adicionales que se prestan de manera específica para un usuario y que por lo general se encuentran sujetos a una petición expresa de dicho usuario, es decir que son servicios bajo demanda.

Uno de los ejemplos más comunes de servicios de valor agregado es la asignación de un ancho de banda bajo demanda que permite que a un usuario se le asigne un ancho de banda específico si es que éste lo requiere para ejecutar una determinada aplicación que necesite de un ancho de banda superior al que normalmente se ofrece a todos los usuarios.

Adicionalmente a la asignación de anchos de banda por pedido, se puede mencionar como un claro representante de servicios de valor agregado a la transmisión de *streamings* de audio o de video también bajo demanda.

En el caso específico de UMTS se ofrece la capacidad de implementación de un entorno local virtual o VHE que le proporciona al usuario la posibilidad de disponer de un entorno de servicios personalizado cualquiera sea la red o terminal que esté usando, y cualquiera sea su posición[25].

Como se especificó en la descripción de UMTS, estos sistemas soportan el concepto denominado Entorno Local Virtual (VHE) que permite disponer de un entorno de servicios

personalizado y portable a través de fronteras de redes y entre terminales. De este modo, los usuarios disponen siempre de una interfaz de usuario personalizada de acuerdo con las capacidades del terminal y de servicios también personalizados independientemente de la red o terminal que estén utilizando. Un aspecto clave para soportar VHE es la posibilidad de construir servicios usando interfaces de aplicación estandarizadas, es decir que sin la existencia de una Arquitectura de Servicios Abierta como la que se maneja en UMTS no sería posible el soporte de funcionalidades como VHE[18].

La implementación de este entorno local virtual constituye un servicio de valor agregado que es exclusivo de UMTS y que puede ser prestado gracias a las características de su arquitectura, quedando claro que este tipo de servicio no puede ser ofrecido por ningún otro sistema de acceso inalámbrico incluyendo a MBWA.

#### 4.2.3.4. Consideraciones Adicionales

Tal como se mencionó al inicio de la presente sección, todos los tipos de servicios que acaban de ser descritos no son exclusivos de UMTS, sino que constituyen tipos de servicios de telecomunicaciones que pueden ser implementados utilizando cualquier otro sistema de acceso inalámbrico que ofrezca características y prestaciones similares o superiores a las ofrecidas por UMTS.

Ese es precisamente el caso de MBWA, que tal como se ha venido analizando en toda esta sección, es una tecnología de acceso de radio más evolucionada que UMTS, y que debido a sus características y prestaciones permite el despliegue de los mismos servicios que se ofrecen en UMTS pero con la diferencia que dentro de esos tipos de servicio pone a disposición una variedad más amplia de aplicaciones avanzadas que para su funcionamiento exigen requerimientos de sistema que no pueden ser cubiertos por sistemas de tercera generación como UMTS sino que necesariamente deben ser implementadas con sistemas más avanzados de acceso inalámbrico de banda ancha móvil, como *Mobile Fi*, que es considerada ya como una tecnología de 3.9G, es decir que se encuentra a las puertas de pertenecer a la tan esperada y discutida cuarta generación.

De acuerdo a la explicación anterior, queda claro que no es necesario hacer una descripción adicional de los tipos de servicios de MBWA, ya que se considerará que son los mismos que los ofertados por UMTS; pero haciendo hincapié en que si bien es cierto que con ambos sistemas se pueden implementar los mismos tipos de servicios, la diferencia entre las dos tecnologías radica en la complejidad de las aplicaciones que se pueden ofrecer

dentro de esos servicios y en la eficiencia con que son llevadas a cabo cuando se trata de aplicaciones iguales o equivalentes.

#### 4.2.4. Aplicaciones

MBWA tiene la capacidad de alcanzar altas prestaciones en transmisiones de voz y datos, y debido a sus características y a los objetivos bajo los cuales fue creada, esta tecnología está pensada para permitir la creación de un gran mercado de multimedia móvil basada en IP.

Con *Mobile Fi* se pueden mejorar ostensiblemente las aplicaciones de datos avanzadas persona a persona, con mayores y más simétricas tasas de datos de usuario. Estas aplicaciones pueden incluir la gestión de correo electrónico en el móvil, juegos en tiempo real con otro jugador, envíos de ficheros multimedia, y transmisión y recepción de imágenes y videos en tiempo real.

Las aplicaciones tradicionales de negocios, junto con muchas aplicaciones de consumidores, se beneficiarán también del incremento de la velocidad de conexión.

El acceso móvil de banda ancha basado en movilidad IP permite a los usuarios el acceso a todo tipo de datos, incluyendo voz y video, y hace posible la prestación del servicio de Internet a cualquier persona, así como el acceso a datos de redes internas a sus usuarios autorizados.

Todas estas características hacen que el acceso de banda ancha móvil se vuelva un mercado potencial para todos los usuarios de servicios y aplicaciones basadas en IP incluyendo el acceso a Intranets empresariales seguras, servicios de VLAN, juegos y entretenimiento, servicios de Internet, servicios de localización, y en general para quienes requieran de una conexión inalámbrica de banda ancha que les permita tener acceso a cualquier aplicación, en cualquier momento y en cualquier lugar, aún cuando puedan encontrarse movilizándose en algún tipo de vehículo.

Hablando en general, la interfaz de aire de 802.20 se encuentra optimizada para la prestación de servicios inalámbricos de datos de alta velocidad basados en IP. Más específicamente, esta interfaz de aire debe soportar aplicaciones que se ajusten a protocolos y estándares abiertos. Dentro de estas aplicaciones se incluyen a las que se listan a continuación como las más significativas, pero existen muchas otras aplicaciones que

podrían ser implementadas sin ningún problema.

- *Streaming* de video
- *Streaming* de audio
- Navegación web con altas prestaciones gráficas
- Correo electrónico
- Subida y descarga de archivos desde y hacia sitios web y servidores de transferencia de archivos sin límites en el tamaño de los ficheros
- Aplicaciones multimedia de alta calidad
- Telemática
- Servicios de localización
- Conexiones VPN
- VoIP con características de QoS que permiten proporcionar el desempeño requerido, en términos de latencia y pérdidas de paquete, para soportar el uso de los *codecs* estandarizados y aplicables a redes móviles
- Mensajería instantánea
- Juegos en línea multi jugador[32].

Todos estos requerimientos para la prestación de servicios y aplicaciones de banda ancha móvil como las descritas en los párrafos anteriores, no pueden ser cubiertos por tecnologías de 3G como UMTS.

Evidentemente que con un sistema UMTS se puede acceder también a servicios de transmisión de datos, de transmisión de video, de navegación en internet, y a aplicaciones multimedia como el envío de imágenes y videollamadas, pero no con las mismas tasas de transmisión ni la misma calidad en el servicio que pueden obtenerse al acceder por medio de un sistema de banda ancha más avanzado como MBWA.

Si bien es cierto que UMTS no tiene la capacidad para la prestación de estos servicios con la misma calidad y que incluso existen aplicaciones que no pueden ser ofrecidas por

medio de estos sistemas de tercera generación, dichos servicios y aplicaciones sí pueden ser implementados con las tecnologías evolucionadas de UMTS, como HSDPA y HSUPA, que gracias a sus características mejoradas permiten el manejo de tasas de transmisión más elevadas y por consiguiente el proporcionamiento de servicios y aplicaciones de banda ancha comparables a las que se ofrecen en MBWA.

La Figura 4.6 muestra el panorama general de la implementación de aplicaciones que puede llevarse a cabo utilizando un sistema UMTS[34].



Figura 4.6: Visión General de Aplicaciones y Servicios de UMTS

La Figura 4.7 por su parte ilustra la visión de la integración inalámbrica que pretende



implementar MBWA por medio de tres dominios de usuario que incluyen el dominio de trabajo, el dominio móvil y el dominio de hogar; cada uno en diferentes escenarios de servicio y aplicaciones[32].



**Figura 4.7: Visión General de Aplicaciones y Servicios de MBWA**

Tal como puede observarse en la Figura 4.6 y en la Figura 4.7, las principales aplicaciones de ambos sistemas incluyen llamadas de voz, llamadas de video y videoconferencia, transferencia de datos, acceso a internet, servicios multimedia para el envío y recepción de imágenes, audio y video, *streaming* de audio y video, descarga de aplicaciones y archivos, comercio electrónico, conexión a redes internas privadas para la utilización de aplicativos propios de esa red y acceso a la información de la misma, servicios de entretenimiento y noticias, servicios de localización, servicios de acceso remoto, correo electrónico; por citar solamente algunas de las aplicaciones más importantes porque en realidad es inimaginable la cantidad de aplicaciones que pueden implementarse con un sistema de acceso inalámbrico y más aún si ofrece la posibilidad de acceder a servicios IP de banda ancha.

Todas estas aplicaciones hacen posible que con sistemas de tercera generación en adelante sea factible la implementación de entornos de oficina portables o incluso móviles que permitan que cualquier persona en cualquier lugar y momento pueda conectarse a su red interna para desarrollar su trabajo como si se encontrara en el escritorio de su

propia oficina. Estas aplicaciones resultan totalmente beneficiosas para el crecimiento y la expansión de actividades comerciales en línea y para el mejoramiento en la productividad de muchos sectores económicos y comerciales.

La evolución de sistemas inalámbricos de banda ancha móvil en general ha permitido que la vida de las personas dé un giro bastante grande, ya que no solamente ofrecen beneficios en términos comerciales o laborales, sino que también ofrecen una amplia variedad de posibilidades para el entretenimiento de la gente que van desde la navegación web con la posibilidad de visualización de contenido multimedia, pasando por los juegos en línea, hasta llegar al acceso a redes sociales; y todo sin necesidad de encontrarse frente al computador de la casa.

Aunque suene repetitivo no está por demás recalcar que si bien las mismas aplicaciones pueden ser ofrecidas por ambos sistemas, la diferencia radica en la calidad con que se ofrece el servicio en dichas aplicaciones y en la velocidad con que se pueden enviar y recibir datos hacia y desde la red.

Por ejemplo, si bien es posible realizar una videollamada utilizando una red UMTS, la calidad de la imagen será considerablemente menor que la que podría obtenerse utilizando un sistema MBWA, y los retardos en las transmisiones serán también mucho mayores haciendo que el video de la llamada en UMTS posiblemente se congele a momentos o avance cuadro a cuadro como si estuviera en cámara lenta; mientras que con un sistema de banda ancha móvil *Mobile Fi* los retardos serán prácticamente imperceptibles y harán que el video que se recibe no tenga ningún corte, sea continuo, y muestre los movimientos casi en tiempo real.

Una gran diferencia entre las aplicaciones de MBWA y UMTS está definida por la movilidad. Se ha dicho muchas veces que UMTS no soporta movilidades a altas velocidades ya que empieza a presentar importantes degradaciones en la calidad del servicio; es decir que por ejemplo el concepto de oficina móvil no sería posible en UMTS porque si un ejecutivo se encuentra movilizándose en un automóvil posiblemente podría tener dificultades para realizar una comunicación que requiera una cantidad importante de recursos; cosa que no sucede en MBWA, ya que esta tecnología sí hace posible la implementación literal del término oficina móvil.

Este impedimento en los sistemas UMTS y que por el contrario se convierte en un gran beneficio ofrecido por *Mobile Fi* genera la posibilidad de que con estos sistemas se puedan

llevar a cabo aplicaciones para dispositivos que se encuentren localizados en vehículos que estén diseñados para moverse a grandes velocidades como trenes o unidades de emergencia.

De hecho en algunas ciudades del mundo en donde se encuentran desplegados sistemas MBWA se han desarrollado aplicaciones, basadas en esta tecnología, para vehículos de la policía. Estas aplicaciones están pensadas para que los oficiales puedan acceder a muchos servicios en línea de manera confiable y sin ninguna pérdida de servicio aún cuando puedan encontrarse en alguna emergencia que requiera de su movilización a altas velocidades.

Estas aplicaciones móviles para vehículos de transporte o emergencia son muy interesantes y pueden resultar de mucha utilidad como un complemento para las aplicaciones típicas de usuario que se manejan normalmente en sistemas de acceso inalámbrico; además pueden constituirse en un importante nicho de mercado para la implementación y comercialización de sistemas MBWA.

## Capítulo 5

# ANÁLISIS PARA LA CONSIDERACIÓN DE UNA POSIBLE IMPLEMENTACIÓN DE MBWA EN EL ECUADOR

### 5.1. Introducción

En los tres primeros Capítulos se ha realizado una descripción bastante específica y detallada de todas las características principales tanto de los sistemas MBWA como de los sistemas UMTS, descripción que ha incluido arquitecturas de red y protocolos, especificaciones de Capa Física y de Control de Acceso al Medio, características de funcionamiento, procedimientos de seguridad, *handoff*, control de potencia, gestión de calidad de servicio, mecanismos para el manejo de la eficiencia espectral y la asignación de recursos.

El enfoque del presente proyecto está orientado a realizar un análisis de las características técnicas de los sistemas MBWA para establecer un estudio comparativo con UMTS centrado precisamente en esas características y especificaciones técnicas, y que adicionalmente permita establecer un panorama claro en cuanto a los servicios y aplicaciones que pueden ser ofrecidos por cada una de las tecnologías estudiadas.

En este Capítulo, luego de haber analizado y comparado las características y aplicaciones de ambos sistemas, se procederá a realizar un análisis que permita determinar la aplicabilidad que podría tener la tecnología *Mobile Fi* en el país en función de sus características, de los servicios y aplicaciones que puede ofrecer, y de los beneficios que dichas características y aplicaciones podrían proporcionar.

Además de las consideraciones estrictamente técnicas y de servicios, se tomarán en cuenta también consideraciones socio-económicas, regulatorias en lo concerniente a la

utilización y disponibilidad de las bandas de frecuencias, y de facilidad de acceso a servicios de telecomunicaciones en el país; aspectos que serían determinantes para facilitar o dificultar el despliegue de MBWA como una nueva tecnología para el acceso inalámbrico de banda ancha móvil en sustitución o en complemento de las tecnologías de tercera generación implementadas hasta el momento.

## 5.2. Consideraciones para la Aplicabilidad de MBWA en el Ecuador

### 5.2.1. Consideraciones Generales

Actualmente vivimos en un mundo globalizado en el cual se hace totalmente necesario el acceso a las tecnologías de la información y comunicación. Hace algunos años el acceso a fuentes de información, tales como el internet, estaba limitado a un número no muy grande de personas, y más aún el acceso a internet con conexiones de banda ancha era un privilegio para un grupo selecto de afortunados. Aunque siendo claramente realistas, en países en vías de desarrollo como el Ecuador, este tipo de acceso a internet y a servicios más avanzados de telecomunicaciones sigue siendo todavía un privilegio y un lujo al que la gran mayoría de la población no puede acceder.

Sin embargo, la necesidad de vivir constantemente conectados, en cualquier momento y en cualquier lugar, con aplicaciones ya sean de entretenimiento o de trabajo, ha originado un vertiginoso crecimiento en la demanda de servicios de telecomunicaciones que requieren de conexiones de banda ancha para su prestación.

Cada día es mayor el número de usuarios a nivel mundial que necesitan acceder a servicios de: transmisión de datos a altas velocidades, videollamada y videoconferencia de alta calidad, *streaming* de audio y video, telepresencia, VoIP, etc.; y esta creciente cantidad en la demanda de servicios de banda ancha ha generado la necesidad de desarrollar e implementar nuevas tecnologías que permitan satisfacer adecuadamente las necesidades del usuario y del mercado.

Hasta hace algún tiempo la prestación de este tipo de servicios y aplicaciones se encontraba limitada a sistemas de acceso fijos y cableados, ya que por los requerimientos de ancho de banda era imposible implementarlos con sistemas de acceso inalámbricos, pero en la actualidad las tecnologías inalámbricas han evolucionado y se han desarrollado de tal manera que hoy por hoy es totalmente factible prestar servicios de banda ancha por medio de la interfaz de aire gracias a las tecnologías de acceso inalámbricas de banda

ancha móvil.

Tomando en cuenta todas estas consideraciones, el desarrollo y futura implementación de la tecnología *Mobile Fi* para el acceso inalámbrico de banda ancha móvil, podrían ser de vital importancia en el crecimiento del sector de las telecomunicaciones en el país; ya que la gran demanda de servicios de datos para terminales móviles es probablemente la principal fuente de crecimiento del sector de las telecomunicaciones en la actualidad.

En este escenario de constante evolución, tanto de tecnologías como de aplicaciones, *Mobile Fi* se constituye en una excelente opción como un sistema capaz de ofrecer acceso inalámbrico de banda ancha móvil con extraordinarias prestaciones y con el potencial suficiente para implementar servicios y aplicaciones que satisfagan las necesidades de los usuarios por más exigentes que estas pueda ser.

Se han analizado ampliamente las características y el funcionamiento de los sistemas MBWA, y de ese análisis se puede concluir que son sistemas muy robustos y eficientes que permiten la prestación de servicios IP móviles con altas tasas de transmisión y altos niveles de seguridad, confiabilidad y disponibilidad.

Si se habla específicamente de las prestaciones que MBWA ofrece, como una opción para el despliegue de sistemas de acceso inalámbricos que permitan la prestación de servicios de banda ancha en cualquier lugar y con la garantía de poder mantener las tasas de transmisión y la calidad en el servicio tanto en condiciones sin movilidad como en escenarios con movilidad vehicular a altas velocidades, se podría decir que es una alternativa bastante viable y aplicable para el despliegue a gran escala de sistemas de banda ancha que permitan ampliar considerablemente la cobertura de este tipo de servicios en el país y por ende también la cantidad de personas que puedan acceder a ellos.

Un detalle bastante importante de la tecnología *Mobile Fi* es que gracias a sus características ofrece una enorme flexibilidad para proporcionar servicios de datos y voz en áreas rurales y en áreas metropolitanas con alta densidad de población. Asegurando en ambos casos que los usuarios cuenten con la capacidad absoluta de disfrutar de un servicio de internet de alta velocidad y de servicios de voz sobre protocolos de internet (VoIP) de alta calidad en entornos fijos, portátiles y móviles.

Esta característica en particular hace que MBWA sea un sistema que podría adaptarse perfectamente a las condiciones geográficas y demográficas del Ecuador, lo cual se traduce

en que su implementación podría ser completamente factible y con excelentes resultados.

Ecuador es un país con una geografía bastante accidentada e irregular, que en muchos casos dificulta en gran medida la implementación de sistemas de telecomunicaciones especialmente para comunicaciones inalámbricas, y el hecho de disponer de un sistema que ayude a subsanar estas barreras impuestas por la naturaleza se convierte en un factor de mucha utilidad si se trata de instalar sistemas que permitan llegar con conexiones de banda ancha y servicios de telecomunicaciones a poblaciones rurales en lugares remotos o alejados; obviamente sin dejar de lado a las grandes ciudades, como Quito y Guayaquil, que serían las que mayor cantidad de usuarios demandarían, usuarios que serían atendidos con excelentes prestaciones independientemente de la cantidad.

Sin embargo, a pesar de todos estos factores que hacen que MBWA sea un sistema aplicable en el país y con una posible implementación muy viable, hay que analizar también otros aspectos que podrían dificultar dicha viabilidad.

Hay que tomar en cuenta que los sistemas MBWA basados en la interfaz de aire del estándar IEEE 802.20 son una tecnología nueva y que no se encuentra desplegada a gran escala a nivel mundial. Si bien es cierto que el estándar 802.20 fue aprobado totalmente y liberado en la segunda mitad del año 2008, ya hace aproximadamente tres años, las tecnologías basadas en la interfaz de aire que define han pasado mucho tiempo en etapas experimentales y no se han comercializado aún a gran escala.

Actualmente existen dos sistemas MBWA que manejan las especificaciones del estándar 802.20 y que se comercializan desde el año 2008. Estas tecnologías son *iBurst* desarrollada por la multinacional japonesa *Kyocera Corporation* y *flash-OFDM* desarrollada por la empresa estadounidense *Qualcomm - Flarion*.

En el año 2011 se estima que estas tecnologías basadas en 802.20 se encuentran disponibles comercialmente en al menos veinte países que incluyen Estados Unidos, Canadá, Irlanda, Noruega, Líbano, Australia, Ghana, Sudáfrica, Kenya, Malasia, por citar algunos; y de acuerdo a los excelentes resultados que se han obtenido con estos sistemas ya en operación, se ha podido constatar que el funcionamiento de los sistemas MBWA basados en la interfaz de aire del estándar 802.20 es totalmente satisfactorio y se ha producido acorde a las especificaciones teóricas y cumpliendo con todas las expectativas que se esperaban.

El hecho de ser una tecnología no tan difundida ha influido en que no se desarrollen

muchas opciones para los terminales de acceso, ya que tanto *iBurst* como *flash-OFDM* manejan por ahora solamente terminales en forma de módems diseñados para el acceso inalámbrico pero fijo o portátil más no móvil todavía. Lo que quiere decir que una de las principales características de MBWA, como es la movilidad, aún no se encuentra plenamente soportada para usuarios comunes debido a la falta de terminales móviles como los utilizados en sistemas celulares tradicionales, terminales como teléfonos celulares, pero con la capacidad de acceder a servicios de datos y voz sobre IP y compatibles con todas las características de MBWA.

Se especifica que no se implementa movilidad para usuarios comunes, ya que como se había mencionado en la Sección de Aplicaciones del Capítulo 4, existen ya sistemas móviles de MBWA instalados en vehículos de emergencia y para aplicaciones especiales, y en un futuro cercano seguramente se liberarán ya terminales similares a los teléfonos celulares, PDAs o *tablets* que conocemos actualmente pero con capacidad de conectarse a redes *Mobile Fi*.

El hecho de desplegar una tecnología completamente nueva y desde cero es siempre algo costoso; y aunque los fabricantes de los equipos, tanto de las estaciones base como de los terminales de usuario, aseguran que los costos de instalación, despliegue y mantenimiento son relativamente bajos y muy competitivos en comparación con los equipos de los sistemas que ya se encuentran implementados, siempre un despliegue total de una red de este tipo requiere de una gran inversión, y este factor en el caso de Ecuador sería el gran limitante para la instalación de sistemas MBWA.

Cuando se realizó la instalación de sistemas 3G, por ejemplo, no hizo falta un despliegue total, ya que la infraestructura de red existente de los sistemas GSM y GPRS es la base para la instalación de sistemas UMTS, siendo solamente necesario hacer una evolución de lo que ya se encuentra instalado y una ampliación adicional pero sin necesidad de implementar una infraestructura de red desde cero prácticamente.

El Ecuador no es un país que cuente con la facilidad de disponer de empresas que puedan enfrentar este tipo de inversiones para implementar un sistema que tiene en entrar a competir en un mercado en donde ya existen empresas consolidadas que se encuentran prestando servicios de acceso inalámbrico de banda ancha móvil.

Es verdad que técnicamente MBWA es una tecnología mucho mejor que UMTS o sus evoluciones posteriores, por el simple hecho de que los sistemas de tercera generación



están orientados a prestar servicios de voz, y aunque fueron modificados y evolucionados para la transferencia de datos, no están optimizados para la entrega de servicios basados en paquetes; y es por esta razón que siempre un sistema diseñado propiamente para proporcionar servicios de paquetes basados en IP será más eficiente, y esa eficiencia se verá reflejada en la calidad de servicio que percibe el usuario final.

Pero a pesar de los beneficios que se pueden encontrar al disponer de un servicio MBWA en lugar de un servicio de 3.5 ó 3.75G, que son los prestados por las operadoras celulares en el país, un usuario común no va a estar dispuesto a pagar un precio quizá significativamente más elevado por un servicio que puede encontrar más barato aunque no con las mismas prestaciones.

Es exactamente lo mismo que ocurre con los servicios HSPA+ que fueron recientemente implementados por las dos operadoras celulares más grandes y promocionados como de cuarta generación. Si bien es cierto que las velocidades de transmisión que se pueden obtener con esta tecnología son bastante altas, también es cierto que un paquete de voz y datos de los que se venden para acceder a esta red tiene un costo bastante elevado que oscila alrededor de los 100 dólares, costo que va a hacer que la gran mayoría de usuarios simplemente siga manteniendo sus paquetes de datos de 3.5G a un costo mucho menor, y que solo un reducido porcentaje de usuarios acceda a los nuevos servicios HSPA+.

Las características y prestaciones de HSPA+ son comparables a las de MBWA, y es por esta razón que se toma como ejemplo para mostrar aproximadamente el rango en el que podría ofrecerse un servicio *Mobile Fi* si llegara a ser desplegado en el país.

Luego de todas las consideraciones realizadas hasta el momento se puede decir que si bien por un lado los sistemas *Mobile Fi* podrían tener una gran aplicabilidad en el país y podrían ser desplegados exitosamente ya que sus características técnicas permitirían la prestación de servicios de banda ancha en todas las regiones del país, aún en las que todavía no cuentan con ningún tipo de infraestructura de telecomunicaciones y mucho menos de servicios de este tipo; por otro lado, dicha aplicabilidad podría ponerse en tela de duda junto con una posible implementación que no sería tan factible debido a que el mercado de servicios de banda ancha móvil en el país se encuentra ya explotado y la introducción de un nuevo prestador de servicios de este tipo sería un poco complicada sobre todo por la aceptación que tendría por parte de los potenciales usuarios sabiendo que ellos ya disponen de un servicio similar y considerando que el servicio del nuevo operador bajo el sistema MBWA sería algo más costoso.

Tal vez una alternativa con la que se haría más viable la implementación de sistemas MBWA en el Ecuador sería el hecho de no introducir la tecnología como una competencia de los servicios celulares de las operadoras móviles, sino más bien como una tecnología para el aprovisionamiento de servicios avanzados de voz y datos para usuarios residenciales o comerciales que requieran de acceso a banda ancha, esto obviamente en un entorno fijo o portátil.

De esta manera los sistemas de acceso inalámbrico de banda móvil *Mobile Fi* buscarían competir con los proveedores de internet que utilizan tecnologías de acceso cableadas, con el objetivo de proveer el servicio en zonas en donde dichos operadores no tengan desplegada su red con la facilidad de que al ser inalámbrica esta tecnología permite llegar a cualquier parte a donde una tecnología cableado no puede.

Otra alternativa para generar una aplicabilidad viable en el país sería la de considerar a MBWA como una solución de Red Privada Segura para las Infraestructuras Fundamentales de las ciudades como son: servicio de emergencias, Policía local, Bomberos, Ambulancias, Transporte, Servicios Municipales y Gubernamentales, etc.; así como para otras necesidades de banda ancha en entornos de movimiento como Puertos y Aeropuertos.

En algunos de los países en los que se encuentra implementada, esta tecnología es utilizada precisamente para ofrecer servicios y aplicaciones de este tipo, y aunque por ahora suene un poco irrealizable el hecho de modernizar a los servicios públicos de Ecuador con tecnologías de esta naturaleza, es algo que no se debe descartar si deseamos que en algún momento el país se desarrolle. E indudablemente se puede propiciar el desarrollo del país si el sector de las telecomunicaciones, que es uno de los más productivos, se desarrolla también con la implementación de tecnologías de última generación, no solamente inalámbricas sino también cableadas.

### **5.2.2. Consideraciones Socio-Económicas y de Acceso a Servicios de Telecomunicaciones**

El Ecuador es considerado como un país en vías de desarrollo, y es totalmente evidente que lamentablemente existen muchos aspectos en los cuales ese desarrollo es prácticamente inexistente o avanza a pasos muy lentos. Uno de esos aspectos es el libre acceso de toda la población a las tecnologías de la información y comunicación.

A pesar de que vivimos en una sociedad cada vez más dependiente de la tecnología y de

los medios de información y comunicación, y de que el acceso a dichos medios y tecnologías más que un lujo se ha convertido en una necesidad, en nuestro país, al igual que en todos los países no desarrollados del mundo, una gran parte de la población no tiene acceso a ningún tipo de tecnología ni de servicio de comunicación; y la gran mayoría no tiene acceso ni siquiera a internet que es la principal fuente de información en la actualidad y que se ha constituido en una herramienta extremadamente útil para cualquier tipo de actividad comercial, laboral, personal o educativa.

Según los datos proporcionados en los últimos informes publicados por la Superintendencia de Telecomunicaciones, en el Ecuador existían hasta el mes de Julio de 2011, 15 millones 664 mil 580 abonados de servicio móvil avanzado, pero de esos casi 16 millones de abonados, solamente 1 millón 401 mil 875 disponen de un terminal UMTS con capacidad para recibir servicios de tercera generación o superiores; y los otros casi 14 millones de usuarios solamente tienen acceso a servicios de telefonía celular, lo cual no es malo porque de acuerdo al último censo efectuado por el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, el país cuenta con 14 millones 483 mil 499 habitantes, y esto indicaría que la mayoría de la población al menos tiene acceso a un servicio básico de telecomunicaciones como son las llamadas de voz; pero sí es negativo en el sentido que es muy reducida la cantidad de personas que tienen la posibilidad de acceder a servicios de 3, 3.5, 3.75 o 4G para poder navegar en internet o transmitir y recibir datos por medio de su teléfono móvil.

Obviamente que los números resultan ser engañosos porque a pesar de que la cantidad total de abonados es superior incluso al total de habitantes en el país, no es cierto que todas las personas tengan acceso a servicios de telefonía celular, ya que hay muchas personas que disponen de más de una línea por ejemplo, mientras que muchísimas otras no disponen ni tienen acceso a ninguna. Pero de todas formas si es muchísimo mayor el porcentaje de la gente que puede acceder al menos a servicios de telefonía en comparación con el de la gente que puede acceder también a servicios de datos.

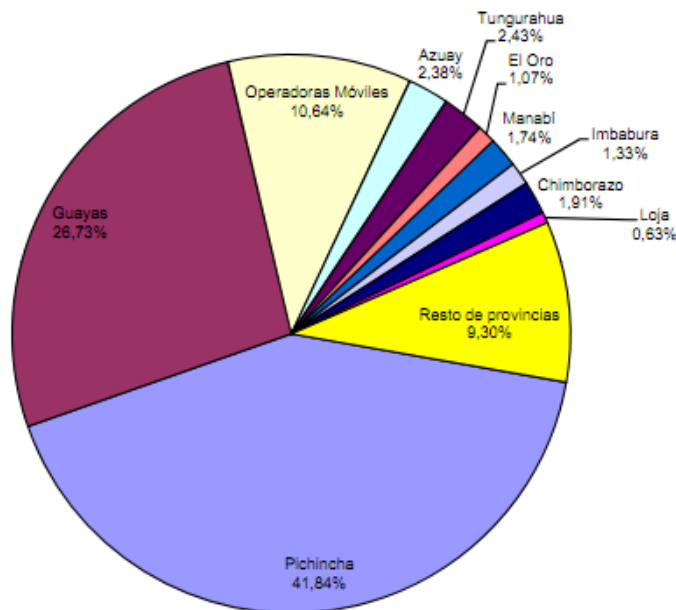
Si se considera en general la cantidad total de usuarios que tienen acceso a internet, sin discriminar si el tipo de acceso de que disponen es inalámbrico o cableado, se puede encontrar que menos de la cuarta parte de la población del país tiene acceso a este servicio que en la actualidad resulta ser tan indispensable. De acuerdo también a los últimos datos publicados por la Superintendencia de Telecomunicaciones y actualizados a Marzo de 2011, solamente 3 millones 333 mil 459 personas, equivalentes al 23 por ciento de la población, tienen acceso a internet; lo cual evidentemente es preocupante porque no puede ser admisible que solamente una parte tan reducida de personas en el Ecuador disponga

de este servicio que representa la principal plataforma de información y comunicación a nivel mundial.

Si se profundiza un poco más en estas estadísticas se encuentra que solamente 354 mil usuarios en todo el país tienen acceso a servicios de datos proporcionados por medio de sistemas de acceso inalámbrico ofrecidos por las operadoras móviles, es decir que menos del 3 por ciento de toda la gente que vive en el Ecuador puede acceder a servicios de banda ancha móvil como los que podría proporcionar *Mobile Fi*.

A continuación se presentan dos gráficas estadísticas que resumen todo lo expuesto anteriormente.

La Figura 5.1 muestra un gráfico estadístico que ilustra el porcentaje de usuarios de internet por provincias, tomando en cuenta que el total nacional de usuarios es de 3 millones 333 mil 459 y que la información se encuentra actualizada a Marzo de 2011 tal como ya se había mencionado.

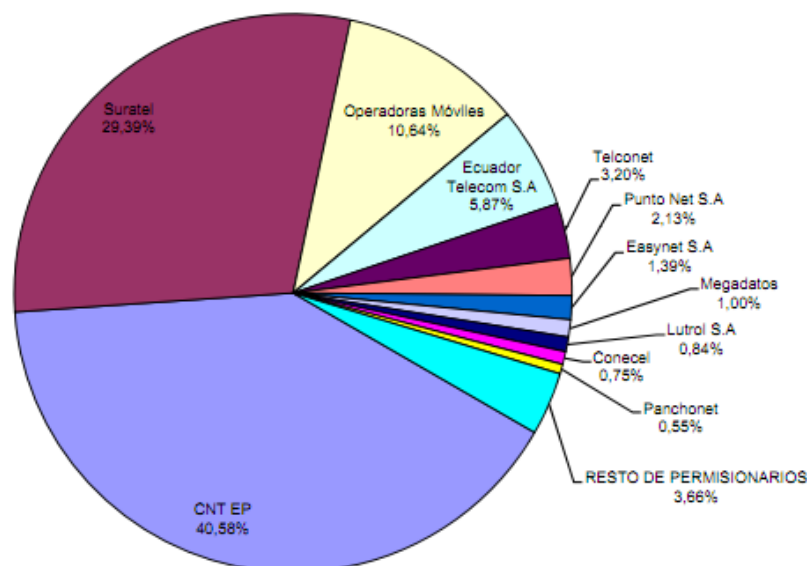


**Figura 5.1: Usuarios de Internet por Provincias en Porcentaje**

Como puede observarse en la Figura 5.1, casi el 70 por ciento de usuarios se localizan en las provincias de Pichincha y Guayas, a las cuales pertenecen las dos ciudades más grandes e importantes del país, Quito y Guayaquil, las mismas que concentran una gran mayoría de todos los usuarios con acceso a internet; mientras que las provincias más pequeñas que tienen más bien en su mayoría poblaciones sub-urbanas y rurales casi no tienen acceso al

servicio. Lo más grave del asunto es que este mismo panorama se presenta en todos los servicios, no solo de telecomunicaciones, sino también en servicios básicos.

La Figura 5.2 en cambio muestra el porcentaje de usuarios de internet por prestador de servicio y tomando en cuenta las mismas consideraciones que la gráfica de la Figura 5.1.



**Figura 5.2: Usuarios de Internet por Prestador de Servicio en Porcentaje**

Todos los datos y estadísticas presentados anteriormente tienen como objetivo ilustrar la realidad de la situación en la que se encuentran actualmente los servicios de internet y más específicamente de internet de banda ancha móvil, tomando en consideración principalmente la cantidad de usuarios que pueden acceder a estos servicios, los mismos que podrían convertirse potencialmente en usuarios de *Mobile Fi* en caso de que el sistema llegara a ser implementado.

Al hablar de que solo el 10 por ciento de los usuarios de internet, equivalente al 3 por ciento de la población total, tiene acceso al servicio por medio de sistemas inalámbricos móviles, estamos hablando de que aún queda muchísimo mercado por explotar.

En ese sentido sería totalmente factible y beneficioso implementar una nueva tecnología que permita el acceso de banda ancha móvil para servicios de voz y datos que serían prestados tanto en las grandes ciudades como en los sitios más alejados a los cuales aún no han llegado sistemas de esta naturaleza, sitios ubicados precisamente en todas esas provincias en las cuales no existe cobertura de las operadoras actuales y en donde es bastante difícil instalar infraestructuras de red cableadas. Con los sistemas MBWA basados

en 802.20 ese despliegue sería factible y totalmente apropiado para masificar la prestación de servicios de banda ancha e incrementar sustancialmente la posibilidad de acceso de la población a este tipo de servicios.

Si bien el despliegue de MBWA es aplicable y podría resultar bastante beneficioso, el problema radica más bien en el aspecto económico. Es cierto que la gran mayoría de la población no dispone de servicios de banda ancha y que en ese sentido la implementación de sistemas para la prestación de ese tipo de servicios contaría con un amplio mercado, pero también es cierto que la gran mayoría de toda la gente que no dispone de servicios de internet, y más aún si son de banda ancha, es porque no cuenta con los medios necesarios para cubrir un gasto de esta índole, gasto que en el caso de algunas familias ecuatorianas es en realidad un lujo inalcanzable.

Este hecho, que lamentablemente refleja la realidad del país, hace que ese aparentemente gran mercado se reduzca en realidad a un mercado más bien reducido y limitado a los usuarios que actualmente disponen ya de servicios de banda ancha pero que podrían cambiar de proveedor, más los potenciales usuarios que tengan la posibilidad de contratar servicios móviles de banda ancha pero que actualmente tengan la limitación de no contar con cobertura en el área requerida, limitación que se eliminaría con el despliegue a gran escala de un sistema *Mobile Fi*.

En definitiva, técnicamente hablando y tomando en cuenta las posibilidades de servicios y aplicaciones que se podrían ofrecer con *Mobile Fi*, la implementación de la tecnología sería ampliamente recomendable y beneficiosa, pero añadiendo al análisis el factor económico y de mercado, la aplicabilidad y posible implementación de estos sistemas en el país no sería ya tan viable, al menos para la prestación de servicios a usuarios comunes. En primer lugar porque a pesar del aumento en la demanda de servicios de banda ancha móvil que ha existido en los últimos dos años, el mercado sigue siendo bastante reducido y se encuentra ya manejado por operadoras de servicio completamente consolidadas; y en segundo lugar porque esta tecnología tendría que entrar a competir con tecnologías que se encuentran ya totalmente implementadas y funcionando en el país, lo cual haría que su introducción sea bastante difícil y demorada.

Se pone énfasis en que la aplicabilidad sería complicada para usuarios comunes que requieren servicios de voz y datos, pero se recalca una vez más que los sistemas basados en 802.20 podrían tener una buena aplicabilidad para la implementación de redes de servicios de instituciones públicas y privadas por poner un ejemplo.

Es importante mencionar que toda la información estadística presentada en esta Sección fue tomada de los informes estadísticos disponibles en la página web de la Superintendencia de Telecomunicaciones del Ecuador.

### 5.2.3. Ventajas y Desventajas

Técnicamente hablando, las ventajas que pueden obtenerse con la implementación de un sistema *Mobile Fi* para la prestación de servicios de banda ancha móvil son muchas, es más podría decirse que considerando solamente la tecnología como tal, prácticamente no pueden encontrarse desventajas.

Por un lado, debido a todos los mecanismos que implementa para manejar las transmisiones sobre la interfaz de aire, logra proporcionar una eficiencia espectral bastante alta que se traduce en una excelente gestión para el establecimiento y mantenimiento de sesiones activas para usuarios que requieran acceder a la red, y que a su vez permite hacer un uso totalmente eficiente del espectro radioeléctrico que como se sabe es un recurso muy limitado.

Debido a la utilización de mecanismos de múltiples antenas para la transmisión y recepción, y a la incorporación de técnicas de codificación avanzadas y de modulaciones digitales de orden superior, los sistemas *Mobile Fi* permiten alcanzar tasas de transmisión elevadas que son superiores a las ofrecidas por los sistemas de tercera generación implementados en el país, y que podrían ser comparables a las que pueden alcanzarse con la nueva tecnología HSPA+ recientemente desplegada.

En general todas las características tanto de la Capa Física como de la Capa MAC, incluyendo los procedimientos que se utilizan para el aprovisionamiento de seguridades, *handoff*, calidades de servicio, y control de potencia, hacen que MBWA sea un sistema muy robusto y eficiente, capaz de ofrecer conectividad durante todo el tiempo y en cualquier lugar, y garantizando siempre un servicio de calidad con altas tasas de transmisión y con altos niveles de seguridad, confiabilidad y disponibilidad.

Muchas veces se habla de las recurrentes fallas en el servicio que se presentan en las redes de las operadoras móviles del país, y aunque MBWA es una tecnología que puede estar también sujeta a fallas, queda claro que las características mejoradas de la interfaz de aire que incorpora y las innovaciones que presenta, la convierten en un sistema mucho más robusto y menos vulnerable en todos los sentidos, con la capacidad de ofrecer un

servicio mucho menos propenso a fallas periódicas.

Otra ventaja muy significativa de MBWA es que al ser una tecnología totalmente nueva y creada desde cero, ha sido diseñada específicamente para la prestación de servicios IP, lo cual hace que su desempeño sea totalmente eficiente en el transporte de servicios basados en paquetes, a diferencia de las tecnologías de tercera generación que están optimizadas para servicios de voz y que fueron posteriormente adaptadas para el transporte de datos.

El diseño de una interfaz de aire completamente nueva también ha hecho posible que los sistemas *Mobile Fi* incorporen capacidades intrínsecas de movilidad y sean compatibles con la gran mayoría de tecnologías de acceso inalámbricas creadas hasta el momento. Evidentemente que esta capacidad de coexistencia y esa habilidad para mantener conexiones y prestar servicios a altas velocidades son también dos grandes ventajas que hacen que esta tecnología sea apta para cualquier tipo de aplicación y en cualquier escenario posible.

A pesar de que en los aspectos técnicos y de servicios no puedan encontrarse desventajas significativas, en otros aspectos sí; y la principal desventaja como queda claro ya por los análisis realizados en las Secciones anteriores, son los aspectos económicos y de mercado.

El despliegue total de una red completamente nueva es bastante costoso, y más si se toma en cuenta que son realmente pocos los proveedores de equipos que pueden encontrarse actualmente. Es verdad que estos proveedores han manifestado la competitividad de los precios de los equipos para la implementación de sistemas MBWA, pero aún así la instalación de una infraestructura de red de la magnitud que debería realizarse representa una inversión muy grande.

Lamentablemente en el país parecería ser que no hay la posibilidad de que una empresa se decida a implementar una red *Mobile Fi* con fines comerciales, porque además de la gran inversión que representa, las posibilidades de que pueda ingresar con éxito al mercado de los servicios de banda ancha móvil no son tan alentadoras. Por un lado porque a pesar de que el mercado de este tipo de servicios se encuentra en crecimiento, sigue siendo todavía un mercado muy limitado en el país; y por otro lado porque dentro de ese mercado limitado existen ya operadores consolidados con infraestructuras de red y de servicios totalmente desplegadas y con las que sería demasiado difícil entrar a competir con una tecnología nueva y que tiene que ser implementada desde sus cimientos.

En ese sentido la tecnología *Mobile Fi* se encuentra totalmente en desventaja con



respecto a las tecnologías de acceso inalámbricas que ya se encuentran desarrolladas y operando en el Ecuador, ya que su introducción en el mercado sería bastante complicada e involucraría quizá un proceso muy largo y que tal vez no tenga los resultados esperados en el caso de que los potenciales usuarios no decidan acceder al servicio sobre todo si llega a tener un costo mayor al que actualmente están dispuestos a pagar.

La implementación de sistemas de telecomunicaciones de última generación puede representar una gran oportunidad de desarrollo para el país, no solamente por los ingresos económicos que obviamente pueden generar, sino también, porque el despliegue a gran escala de tecnologías de este tipo ayudaría a incrementar el porcentaje de personas que tienen acceso a internet y a otros servicios de comunicación, aportando con esto a las actividades productivas y a la educación del país, y haciendo que el país se desarrolle a partir del desarrollo y del mejoramiento en las condiciones de vida de sus habitantes.

Solo resta por decir que la posible instalación de la tecnología *Mobile Fi*, o de cualquier otra tecnología avanzada, en el país siempre será ventajosa porque de una forma o de otra contribuirá al crecimiento del Ecuador, siempre y cuando se le dé el enfoque y la aplicabilidad adecuados.

### **5.3. Marco Regulatorio en el País y utilización del Espectro Radioeléctrico**

#### **5.3.1. Visión General de la Regulación en el País**

El rol del Estado en el manejo y regulación de las telecomunicaciones debe ser el de generar un ambiente óptimo que garantice el desarrollo y fortalecimiento del sector y de los servicios que presta tanto para los consumidores como para los prestadores de dichos servicios.

El sector de las telecomunicaciones de acuerdo a la Ley de Transformación Económica del Ecuador prestará sus servicios en un régimen de libre competencia, evitando los monopolios y la competencia desleal, para que todos los partícipes del sector operen en condiciones óptimas.

El Reglamento General a la Ley Especial de Telecomunicaciones Reformada establece que “La actuación pública en el sector de telecomunicaciones se llevará a cabo por el Consejo Nacional de Telecomunicaciones, CONATEL, la Secretaría Nacional de Telecomunicaciones y la Superintendencia de Telecomunicaciones, de conformidad con las

competencias atribuidas por la ley”.

Lo que se busca es que dichos organismos puedan actuar coordinadamente en el desempeño de sus actividades y puedan tener una interacción adecuada, fluida y continua para la consecución de sus fines.

- **Consejo Nacional de Telecomunicaciones (CONATEL):** Es el ente público encargado de establecer, en representación del Estado, las políticas y normas de regulación de los servicios de telecomunicaciones en el Ecuador; es decir que es el organismo de administración y regulación de las telecomunicaciones en el país.
- **Secretaría Nacional de Telecomunicaciones (SENATEL):** Es el ente responsable de ejecutar las políticas y decisiones dictadas por el CONATEL. En otras palabras se trata del brazo ejecutor del CONATEL, quien solamente dicta las políticas y decisiones pero no se encarga de hacerlas cumplir.
- **Superintendencia de Telecomunicaciones (SUPERTEL):** Es el organismo técnico responsable de ejercer la función de supervisión y control de las personas naturales o jurídicas, públicas o privadas del sector de las telecomunicaciones a fin de que sus actividades se sujeten a las obligaciones legales reglamentarias y las contenidas en los títulos habilitantes.

Tal como se establece en el Reglamento General a la Ley Especial de Telecomunicaciones Reformada, estos tres organismos de regulación y control trabajan de manera conjunta y complementaria y se encargan de asegurar que el sector de las telecomunicaciones se desarrolle de acuerdo a las normativas contempladas en la ley y buscando condiciones favorables, tanto para prestadores de servicios como para usuarios, que permitan impulsar el desarrollo integral tanto del sector en sí como del país.

Dentro de la regulación a nivel de servicios se establece que existen tres tipos de servicios definidos y regulados. Estos son:

- **Servicios Finales:** Son aquellos servicios de telecomunicaciones que proporcionan la capacidad completa para la comunicación entre usuarios, incluidas las funciones de equipo terminal y que generalmente requieren elementos de conmutación.
- **Servicios Portadores:** Son los servicios de telecomunicación que proporcionan la capacidad necesaria para la transmisión de señales entre puntos de terminación de

red definidos, usando uno o más segmentos de una red. Estos servicios pueden ser suministrados a través de redes públicas conmutadas o no conmutadas integradas por medios físicos, ópticos y electromagnéticos.

- **Servicios de Valor Agregado:** Son aquellos que utilizan servicios finales de telecomunicaciones e incorporan aplicaciones que permiten transformar el contenido de la información transmitida. Esta transformación puede incluir un cambio neto entre los puntos extremos de la transmisión en el código, protocolo o formato de la información.

De estos tres tipos de servicios, los de mayor interés para el presente estudio, debido a su naturaleza, son los servicios móviles avanzados, que son considerados como servicios finales de telecomunicaciones, y los servicios de valor agregado; los mismos que se encuentran plenamente definidos en el Reglamento para la prestación de Servicios de Valor Agregado y el Reglamento para la prestación del Servicio Móvil Avanzado expedidos por el CONATEL.

La importancia de estos dos tipos de servicios en este caso radica precisamente en la relación que tienen con los servicios que pueden ser prestados por redes de última generación, ya que según el CONATEL, los adelantos tecnológicos y la creciente implementación de las Telecomunicaciones Móviles Internacionales (IMT-2000) dieron lugar a nuevos servicios de telecomunicaciones e hicieron necesaria la creación de reglamentos que permitan regular este tipo de servicios.

Para la instalación, operación y prestación de servicios de valor agregado y móviles avanzados, se debe obtener un título habilitante que es otorgado por la Secretaría Nacional de Telecomunicaciones, previa autorización del Consejo Nacional de Telecomunicaciones. Este título habilitante es el que faculta a cualquier persona natural o jurídica para prestar un servicio de telecomunicaciones de este tipo.

De hecho, para la prestación de cualquier servicio de telecomunicaciones se requiere de un título habilitante, la diferencia radica en que para servicios finales y portadores ese título habilitante consiste en una concesión, y para servicios de valor agregado consiste en un permiso. Siendo la concesión una delegación del Estado a un tercero para la instalación, prestación y explotación de dichos servicios; y el permiso solamente una autorización para la prestación de un servicio determinado.

Para el despliegue de los servicios que pueden ofrecerse y prestarse con los sistemas *Mobile Fi*, sobre todo el servicio de datos e internet móvil y el servicio de voz que son

los más importantes, sería necesario justamente un título habilitante para la prestación de servicios de valor agregado y una concesión para la prestación de servicios móviles avanzados.

Debido a sus características, este tipo de servicios son considerados dentro de estas categorías; de hecho los servicios de banda ancha móvil con sistemas UMTS, HSDPA, HSUPA y HSPA+ que son prestados actualmente en el país están autorizados por medio de títulos habilitantes de servicios de valor agregado que fueron concedidos a las operadores móviles como un permiso adicional a la prestación de servicios móviles avanzados con que también cuentan.

En la actualidad todos los servicios de este tipo y prestados por medio de sistemas de acceso inalámbrico de banda ancha móvil, requieren de estos permisos para poder ser prestados, lo cual no quiere decir que las concesiones para prestación de servicios portadores no puedan ser necesarias dependiendo del tipo de servicios que se quieran proporcionar.

Por ejemplo los operadores celulares del país cuentan con concesiones para la prestación de servicios portadores y de servicio móvil avanzado y con el permiso para la prestación de servicios de valor agregado; y en caso de que se deseara prestar todos los mismos servicios que prestan estos operadores pero con un sistema *Mobile Fi*, sería necesario también contar con los tres títulos habilitantes; para de esta manera cumplir con todos los requerimientos legales y tener la autorización del caso para la explotación de todos los servicios que esta tecnología puede ofrecer. Al igual que para servicios de valor agregado y servicios móviles avanzados, existe un Reglamento que regula la Prestación de Servicios Portadores.

Además del título habilitante para la prestación de servicios, otro requerimiento indispensable para poder operar sistemas inalámbricos, es la obtención de una concesión para la utilización de una determinada banda de frecuencias dentro del espectro radioeléctrico, dejando en claro que la concesión al igual que en el caso de los servicios, es una delegación que hace el Estado para que una persona natural o jurídica pueda utilizar dichas frecuencias.

Como se ha mencionado muchas veces, el espectro radioeléctrico es un recurso natural limitado perteneciente al dominio público del Estado; y en consecuencia es inalienable e imprescriptible. La planificación, administración, y control de su uso le corresponde al Estado a través del CONATEL, la SENATEL y la SUPERTEL.

El uso del espectro radioeléctrico y su asignación se encuentra fundamentada en los siguientes principios:

- El Estado debe fomentar el uso y explotación del espectro radioeléctrico y de los servicios de radiocomunicación, de una manera racional y eficiente a fin de obtener el máximo provecho.
- El uso del espectro radioeléctrico es necesario para la provisión de los servicios de telecomunicaciones y deberá, en todos los casos, ajustarse al Plan Nacional de Frecuencias aprobado por el CONATEL.
- Las decisiones sobre las concesiones de uso del espectro deben hacerse en función del interés público, con total transparencia y buscando la mayor eficiencia en su asignación, evitando la especulación y garantizando que no existan interferencias perjudiciales en las asignaciones que corresponda.
- El título habilitante para la prestación y explotación de los servicios de telecomunicaciones que requieran de espectro deberá obtenerse obligatoriamente, en forma simultánea, con la concesión del uso del espectro.
- Las frecuencias asignadas no podrán ser utilizadas para fines distintos a los expresamente contemplados en los correspondientes títulos habilitantes. El uso indebido será causa suficiente para que las frecuencias reviertan al Estado, sin que por ello se deba indemnización de ninguna especie.
- En caso necesario, el CONATEL podrá reasignar o reducir una asignación de espectro hecha a favor de un concesionario, lo que le dará derecho a una asignación alternativa de espectro y a una justa indemnización.

El CONATEL es el organismo encargado de establecer el Plan Nacional de Frecuencias que incluye la atribución de bandas a los distintos servicios y su forma de uso, la asignación de frecuencias y el control de su uso.

Todos los usuarios del espectro radioeléctrico deben obligatoriamente obedecer el Plan Nacional de Frecuencias para la utilización de cualquier banda, y de la misma manera, todas las concesiones de frecuencias que se realicen para la prestación de los diversos servicios, estarán basados también en este Plan.

La normativa del Plan Nacional de Frecuencias para la administración del espectro tiene los siguientes objetivos:

- Optimizar el uso del espectro radioeléctrico
- Permitir el desarrollo tecnológico de las telecomunicaciones en el Ecuador
- Garantizar el uso de las frecuencias sin interferencias perjudiciales
- Evitar la especulación con las asignaciones de frecuencias
- Asegurar el acceso igualitario y transparente al recurso
- Reservar los recursos del espectro necesarios para los fines de seguridad nacional y seguridad pública.

Queda claro que la concesión de frecuencias se realiza dentro del marco y la normativa establecidos en el Plan Nacional de Frecuencias y tomando en cuenta las consideraciones anteriores; y es un requisito indispensable para poder iniciar la instalación y posterior operación de un sistema de telecomunicaciones inalámbrico que utilice el recurso radioeléctrico para su funcionamiento y la prestación de sus servicios.

En el caso particular de los sistemas basados en el estándar 802.20, la concesión de frecuencias es un tema bastante sensible, ya que esta tecnología utiliza solamente bandas de frecuencia licenciadas para su operación, a diferencia de otros sistemas de acceso inalámbrico de banda ancha que también utilizan bandas libres o no licenciadas, y esto puede representar un inconveniente tomando en cuenta la disponibilidad de bandas licenciadas que podrían ser concesionadas para el despliegue de un sistema de este tipo.

Toda la información sobre las disposiciones regulatorias y consideraciones acerca de regulaciones de servicios y frecuencias en el país fueron tomadas de las leyes y reglamentos correspondientes[35][36][37][41][42].

### **5.3.2. Situación Actual de las Bandas de Frecuencia utilizadas por *Mobile Fi***

Los sistemas MBWA 802.20 fueron diseñados y están especificados para operar en frecuencias por debajo de los 3.5 GHz y en bandas licenciadas solamente.

Existen otras tecnologías de acceso inalámbrico de banda ancha móvil que admiten también operaciones sobre bandas de frecuencias libres o no licenciadas, como las bandas ICM que están designadas para aplicaciones industriales, científicas y médicas, y que al ser bandas de libre uso y experimentales están sujetas a presentar interferencias perjudiciales que deben ser soportadas por los servicios de radiocomunicaciones que funcionen en estas bandas. Este no es el caso de MBWA, ya que las especificaciones del estándar no admiten que esta tecnología sea implementada en ningún tipo de banda libre.

En el rango de frecuencias utilizables para la implementación de sistemas *Mobile Fi*, las frecuencias ICM presentes y que por consiguiente quedan descartadas por tratarse de bandas no licenciadas son: la banda de 902 a 928 MHz con una frecuencia central de 915 MHz y la banda de 2400 a 2500 MHz con una frecuencia central de 2450 MHz. Existen muchas otras bandas no licenciadas pero que no son mencionadas debido a que no se encuentran en el rango de frecuencias utilizables y aptas para el despliegue de sistemas 802.20[38].

El motivo por el cual deben utilizarse frecuencias inferiores a los 3.5 GHz es porque las frecuencias por debajo de este valor tienen la capacidad de atravesar objetos sólidos por lo que su transmisión y recepción no requiere de una línea de vista directa, es decir que son frecuencias ideales para comunicaciones móviles y de gran alcance. Las características de propagación de las señales de radio varían en gran medida dependiendo de la longitud de onda de la señal que se transmite, y es por esta razón que para sistemas móviles de banda ancha las frecuencias por debajo de 3 GHz resultan ser ideales por las características que se mencionaron anteriormente.

El estándar solamente define el límite superior de las frecuencias que deben utilizarse, pero debido a las características del sistema y tomando en consideración las bandas de frecuencia que se utilizan para sistemas similares, se considerará que el rango de frecuencias idóneo para la implementación de sistemas *Mobile Fi* se encuentra entre los 450 MHz y los 3500 MHz o 3.5 GHz; esto debido a que las frecuencias por debajo de 450 MHz tampoco presentan las condiciones apropiadas para las transmisiones de un sistema de estas características.

Dentro de este rango de frecuencias, la elección de la frecuencia a utilizar para el despliegue de un sistema 802.20 ya depende solamente de las regulaciones de cada país y de la disponibilidad de frecuencias en esas bandas.

De acuerdo a información proporcionada por *Kyocera* y *Flarion Qualcomm*, desarrolladores y fabricantes de las tecnologías *iBurst* y *flash-OFDM* respectivamente, los sistemas que se encuentran implementados hasta el momento de *iBurst* están operando en las bandas de frecuencias de 1785 a 1805 MHz, de 1905 a 1920 MHz y de 2010 a 2025 MHz; mientras que los sistemas en funcionamiento de *flash-OFDM* utilizan las bandas de 450, 700, 800, 1900, 2100 y 2500 MHz. La información sobre las frecuencias utilizadas a nivel mundial para el despliegue de sistemas 802.20, permite tener una idea de cuales podrían ser las bandas utilizadas para la posible implementación de estos sistemas en el país[39][40].

Tal como se describió en la Sección anterior, la concesión para la utilización de frecuencias del espectro radioeléctrico, se la realiza en base al Plan Nacional de Frecuencias aprobado por el CONATEL. Dentro de este Plan Nacional se puede conocer cuales son las bandas de frecuencia que están asignadas para un tipo de servicio en particular y se puede saber también por medio del Cuadro Nacional de Atribución de Bandas de Frecuencias, cuales de esas bandas ya se encuentran concesionadas o atribuidas para la prestación de dicho servicio.

De acuerdo al Plan Nacional de Frecuencias y al Cuadro Nacional de Atribución de Bandas de Frecuencias vigentes, prácticamente todas las bandas de frecuencia licenciadas que son aptas y que podrían utilizarse para la implementación de sistemas MBWA 802.20, se encuentran ya asignadas y concesionadas en el país; lo cual representa un grave problema, ya que al no disponerse de frecuencias que puedan ser utilizadas para servicios móviles de banda ancha prestados por medio de sistemas *Mobile Fi*, el posible despliegue de esta tecnología se vería seriamente amenazado e incluso sería imposible en caso de que no pueda encontrarse una banda que pueda ser asignada y concesionada para este objetivo.

Surge entonces otra desventaja para los sistemas basados en el estándar 802.20 y es la escasez del recurso radioeléctrico que se traduce en una baja disponibilidad de las frecuencias que pueden ser utilizadas en estos sistemas, lo cual a su vez puede suponer un obstáculo para la posible implementación de los mismos.

En la Tabla 5.1 se presenta una recopilación de todas las bandas de frecuencia que podrían utilizarse para el despliegue de sistemas 802.20, incluyendo los tipos de servicios que se encuentran asignados en el país para cada banda y los sistemas que operan y que podrían operar en cada frecuencia. Existen algunas bandas de frecuencias dentro de los rangos aplicables pero que no se consideran debido a que actualmente no están asignadas en el Ecuador para la prestación de servicios móviles[38].



**Tabla 5.1: Posibles Bandas de Frecuencia para el despliegue de Sistemas MBWA 802.20**

Banda Frecuencia (MHz)	Servicios Asignados en el Ecuador	Tecnología en esta Banda de Frecuencia
450 - 455 455 - 456 456 - 459 459 - 460 460 - 470	Móvil, Fijo, Buscapersonas	flash-OFDM en 450 MHz
470 - 512	Móvil, Fijo, Buscapersonas	-
806 - 890 890 - 902	Móvil, Fijo, Sistemas Troncalizados, Sistemas IMT para Telefonía celular	flash-OFDM 800 MHz UMTS 824 - 849 y 869 - 894 MHz
1710 - 1930	Fijo, Móvil, Sistemas IMT-2000 para servicios de Telefonía Celular y Servicio Móvil Avanzado	iBurst 1.8 y 1.9 GHz flash-OFDM 1.9 GHz UMTS 1.9 y 1.92 GHz
1930 - 1970 1970 - 1980	Fijo, Móvil, Sistemas IMT-2000 para servicios de Telefonía Celular y Servicio Móvil Avanzado	flash-OFDM 1.9 GHz UMTS 1.98 GHz
1980 - 2010 2010 - 2025		iBurst 2 GHz UMTS
2110 - 2120 2120 - 2160 2160 - 2170 2170 - 2200		flash-OFDM 2.1 GHz UMTS 2.11 - 2.2 GHz

Cabe destacar que en cuanto a los sistemas que operan solamente se considera a los sistemas UMTS desplegados en las bandas de 824 a 849 MHz, 869 a 894 MHz, 1710 a 2025 MHz y 2110 a 2200 MHz; y en cuanto a los sistemas que podrían operar se consideran a las tecnologías *iBurst* y *flash-OFDM* como representantes de los sistemas basados en 802.20 que actualmente se encuentran en funcionamiento a nivel mundial[41].

Considerando la poca disponibilidad de frecuencias que se tiene actualmente en el espectro radioeléctrico para la implementación de nuevos sistemas inalámbricos que ofrezcan servicios de banda ancha móvil, el CONATEL se encuentra analizando la posibilidad de realizar una re-canalización de frecuencias para liberar la banda de frecuencias de 700 MHz que actualmente se encuentra asignada para servicios de radiodifusión de canales de televisión codificada terrestre. Esa re-canalización sería posible porque con la introducción de la televisión digital terrestre se liberarían ciertas bandas asignadas para el servicio de televisión analógica y eso permitiría hacer una re-estructuración para liberar recursos radioeléctricos.

La banda de los 700 MHz no se incluyó en la Tabla 5.1 debido a que actualmente en el Ecuador no está asignada para servicios móviles sino de radiodifusión como se ha dicho, pero sí es utilizada para la implementación de sistemas *flash-OFDM* en otros países, lo que significa que es totalmente apropiada para la instalación de sistemas basados en 802.20 y que su liberación para posteriores asignaciones para sistemas de banda ancha móvil sería muy beneficiosa y facilitaría el despliegue de este tipo de sistemas en el país.

De todas maneras esto solamente es un proyecto o una idea que se está desarrollando para buscar impulsar la implementación de sistemas de banda ancha móvil en el Ecuador, pero por el momento no es nada concreto ni existe la seguridad de que pueda llegar a aplicarse.

Sin embargo, sería muy positivo si esa re-estructuración del espectro llegara a producirse, ya que cualquier medida que ayude a facilitar la introducción de sistemas de banda ancha móvil en el país sería beneficiosa y propiciaría el desarrollo del sector por medio de la implementación de sistemas modernos y eficientes.

## Capítulo 6

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 6.1. Conclusiones

En el desarrollo del presente trabajo para la obtención del Título de Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones, se han realizado una descripción y un análisis bastante detallados de la tecnología MBWA para Sistemas de Acceso Inalámbrico de Banda Ancha Móvil definida en el Estándar IEEE 802.20, y se ha llevado a cabo también una descripción totalmente concisa pero completa de UMTS, como principal representante de las tecnologías de tercera generación implementadas en el país.

Estas descripciones han tomado en cuenta todos los aspectos técnicos más importantes de ambas tecnologías, incluyendo características principales, arquitecturas de red y de protocolos, especificaciones y características de la Capa Física y de Control de Acceso al Medio, procedimientos de Seguridad, Control de Potencia, Calidad de Servicio; pero sin dejar de lado también al amplio panorama de servicios y aplicaciones que pueden ser implementados con cada una de ellas.

La finalidad de realizar la descripción y el análisis de ambos sistemas es la de proporcionar los conocimientos necesarios sobre cada uno de ellos, conocimientos que permitan establecer criterios de valor para el desarrollo de un estudio comparativo que haga posible determinar cuales son las ventajas y desventajas, en términos de funcionamiento, eficiencia y aplicaciones, que podría presentar esta nueva tecnología *Mobile Fi* con respecto a las tecnologías de acceso que se encuentran ya operando en el Ecuador.

Finalmente, en base a estos estudios descriptivos y comparativos, se desarrolla un análisis que recoge todos los aspectos considerados en los estudios previos para determinar

la posibilidad de una futura implementación de la tecnología MBWA 802.20 en el Ecuador, en función de sus características, de los beneficios que podría traer, y sobre todo de la aplicabilidad que podría tener en el país.

De la realización del presente trabajo se han podido obtener muchas y muy importantes conclusiones que guardan una estrecha relación con los objetivos planteados al inicio del mismo. A continuación se consignan las más significativas e importantes.

- Se puede concluir que *Mobile Fi*, que está basada en las especificaciones del Estándar IEEE 802.20, es una tecnología diseñada específicamente para la prestación de servicios de banda ancha móvil basados en IP, ya que su interfaz de aire se encuentra optimizada para el transporte de paquetes con altas tasas de transmisión y excelentes calidades de servicio en todo tipo de condiciones, aún en escenarios con altas exigencias de movilidad, en los cuales esta tecnología tiene un desempeño muy destacable gracias a la excelente gestión de movilidad con que fue creada.
- Luego de haber analizado ampliamente todas las características y el funcionamiento de los sistemas MBWA 802.20, se puede concluir que en general todas las especificaciones tanto de la Capa Física como de la Capa MAC, incluyendo los procedimientos que se utilizan para el aprovisionamiento de seguridades, *handoff*, calidades de servicio, y control de potencia, hacen que MBWA sea un sistema muy robusto y eficiente, capaz de ofrecer conectividad durante todo el tiempo y en cualquier lugar, y garantizando siempre un servicio de calidad con altas tasas de transmisión y con altos niveles de seguridad, confiabilidad y disponibilidad.
- Se determinó que los sistemas *Mobile Fi* incorporan mecanismos muy útiles para el manejo de las transmisiones que realiza sobre la interfaz de aire, mecanismos que además de incrementar las tasas de datos para los usuarios, le proporcionan una eficiencia espectral muy elevada, la misma que se traduce en una excelente gestión para el establecimiento y mantenimiento de sesiones activas y que a su vez permite hacer un uso totalmente eficiente del espectro radioeléctrico que como se sabe es un recurso muy limitado.
- Al ser una tecnología completamente nueva y con una interfaz de aire desarrollada desde sus cimientos, MBWA 802.20 ha sido creada para incorporar características que le permiten sostener una interoperabilidad con la gran mayoría de tecnologías de acceso de radio existentes hasta el momento de su estandarización; y es por esta razón que puede afirmarse que los sistemas *Mobile Fi* admiten coexistencia

e interoperabilidad totales con otros sistemas de radio, pudiendo incluso llegar a compartir infraestructura de red con dichos sistemas, y sin que esa coexistencia llegue a significar un perjuicio para el funcionamiento ni de uno ni de otros.

- Las tecnologías 3G marcaron un hito importante en el desarrollo de los sistemas inalámbricos de telecomunicaciones, ya que permitieron el aprovisionamiento de servicios que no podían ser implementados y ofrecidos con las tecnologías que las precedieron. Con el despliegue de los sistemas UMTS, que es la tecnología de tercera generación que se encuentra ampliamente implementada en el país, y de sus posteriores evoluciones, tales como HSPA y HSPA+, los usuarios han podido acceder a servicios de voz mejorados y de videollamada, a servicios interactivos y multimedia, y a servicios de transmisión de datos con velocidades que hasta hace algún tiempo eran inimaginables en sistemas inalámbricos móviles; y todo esto gracias a las considerables mejoras en características, funcionamiento, y rendimiento que UMTS incorporó con respecto a las redes GSM de las cuales evolucionó.
- Haciendo un análisis minucioso de la arquitectura de red y de las características de UMTS, se puede concluir que los sistemas de tercera generación están enfocados a la prestación de servicios de voz y que sus especificaciones están orientadas a la optimización de este tipo de servicios basados en la conmutación de circuitos, quedando claro que el soporte para la transmisión de datos y de servicios basados en paquetes surge de adaptaciones realizadas en la tecnología y en su arquitectura, lo cual a su vez se traduce en que los sistemas UMTS de tercera generación no están optimizados para la entrega de servicios basados en paquetes a diferencia de *Mobile Fi* que está orientada completamente a la prestación de servicios IP.
- Luego de haber recopilado y establecido sólidos criterios de comparación entre las dos tecnologías que han sido objeto de estudio en el presente trabajo, se concluye que gracias a sus características y especificaciones técnicas, la tecnología MBWA 802.20 aventaja significativamente a UMTS en términos de disponibilidad, confiabilidad, eficiencia espectral y de funcionamiento, y seguridad, en lo que se refiere a parámetros que no son tan perceptibles para el usuario; y en términos de velocidades de transmisión y de gestión de calidades de servicio en cuanto a características que se encuentran más estrechamente ligadas con la experiencia del usuario y que pueden ser claramente percibidas por él en su interacción con el sistema.
- Se determinó que los sistemas MBWA basados en el estándar 802.20 hacen posible la prestación de servicios de banda ancha móvil basados en IP, servicios que

incluyen tanto a los que típicamente ya han venido siendo prestados por tecnologías inalámbricas a partir de las de tercera generación, por ejemplo transmisión de datos e internet móvil; como también servicios y aplicaciones que hasta poco tiempo eran exclusivos de redes cableadas de banda ancha, como voz sobre IP y videoconferencia en tiempo real y con alta calidad de video. En definitiva se puede decir que muchos de los servicios y aplicaciones que pueden ser implementados con un sistema *Mobile Fi* se pueden implementar también con un sistema UMTS pero obviamente con tasas de transmisión y calidades de servicio significativamente más bajas, pero tomando en cuenta que con un sistema de banda ancha móvil 802.20 se pueden ofrecer además un sinnúmero de servicios y aplicaciones que no pueden ser desplegados utilizando sistemas de tercera generación y que requerirían ya de una evolución 3.5, 3.75 o 4G de UMTS para poder ser implementados con un desempeño similar al que se obtiene con *Mobile Fi*.

- Analizando el panorama de las telecomunicaciones a nivel mundial se puede afirmar sin ninguna duda que este sector es uno de los que más ha crecido y se ha desarrollado en los últimos años, y este desarrollo en gran medida está respaldado por la creciente demanda de servicios de banda ancha por parte de los usuarios. Al hablar de servicios de banda ancha ya no solamente se hace mención a los proporcionados por sistemas fijos y cableados sino que sobre todo se habla de los servicios de banda ancha móviles proporcionados por sistemas de acceso inalámbricos que en la actualidad son los más demandados debido a la cada vez más grande necesidad de los usuarios por mantenerse conectados siempre, en cualquier momento y en cualquier lugar, con servicios y aplicaciones ya sean de entretenimiento o de trabajo.
- Mediante el análisis de las estadísticas sobre el acceso de los ecuatorianos a servicios de internet, y más específicamente de internet móvil, se puede concluir que a pesar del gran incremento en la demanda de servicios de telefonía celular y de banda ancha móvil, en el Ecuador aún es muy reducido el porcentaje de personas que pueden acceder a tan necesarias tecnologías de comunicación e información; y en ese sentido la instalación y operación de sistemas de acceso inalámbricos en el país resultaría totalmente beneficiosa para tratar de masificar el acceso de la población a este tipo de servicios de telecomunicaciones por medio de la ampliación del alcance a zonas en donde los operadores actuales no tienen cobertura o en donde la implementación de tecnologías cableadas resulta ser más complicada.
- Se determinó que debido a sus características técnicas, a la flexibilidad de funcionamiento y despliegue que ofrecen, a la amplia variedad de servicios y aplicaciones

que permiten implementar, y a su capacidad para coexistir y operar con otras tecnologías de radio existentes, los sistemas MBWA 802.20 serían totalmente aplicables en el país, y su instalación y puesta en marcha no solo sería viable sino que además podría resultar bastante beneficiosa para el proporcionamiento de servicios que beneficiarían a la comunidad en general y que propiciarían en varios aspectos el desarrollo de las telecomunicaciones en el Ecuador.

- Se concluye finalmente, que si bien en términos técnicos y de servicios y aplicaciones, la tecnología *Mobile Fi* es excelente y permite implementar sistemas robustos, eficientes y confiables, tiene una gran desventaja que podría representar un obstáculo para su posible implementación en el país; y consiste en que tendría que entrar a competir en un mercado que si bien tiene mucho potencial aún es muy reducido y enfrentándose a operadores que cuentan con una infraestructura de red y de servicios completamente desplegada y basada en tecnologías que se encuentran operando desde hace algún tiempo en el país, en contraste con MBWA 802.20 que tendría que ser implementada desde cero y con los gastos e inversiones que un montaje de esa naturaleza requiere. Si bien estos aspectos económicos y de mercado pueden marcar un obstáculo para el despliegue no solo de *Mobile Fi* sino de cualquier otra tecnología de última generación en el país, hay que recalcar que dichas implementaciones no son imposibles, siempre y cuando se les dé el enfoque apropiado técnica y comercialmente hablando y tomando en cuenta que el desarrollo de la tecnología y su correcta aplicación representará siempre una importante fuente de desarrollo para el Ecuador.

## 6.2. Recomendaciones

Es necesario impulsar el desarrollo de las telecomunicaciones en el Ecuador, y ante el inminente desarrollo de *Mobile Fi*, es muy importante empezar a promover el conocimiento de esta tecnología y de sus principales características; y en este sentido resulta de vital importancia continuar impulsando la realización de estudios que investiguen detalladamente esta tecnología y que complementen el aporte del presente trabajo.

La utilidad de este tipo de estudios es que además de propiciar el adecuado conocimiento de las características de la tecnología, pueden convertirse en una herramienta que en el futuro podrían servir como guía al momento de realizar las consideraciones para su posible implementación en el país.

Finalmente, una recomendación muy importante sería que la tecnología MBWA basada

en el estándar IEEE 802.20 para sistemas de acceso inalámbrico de banda ancha móvil, debería ser considerada e incluida en el pensum de estudios de las asignaturas en las cuales se imparte el conocimiento de las comunicaciones inalámbricas y de las tecnologías utilizadas para el efecto. A pesar de que es una tecnología que aún no ha sido difundida y desplegada a gran escala, seguramente en un futuro cercano tendrá un auge y una acogida mucho mayor a nivel mundial, ya que sus características y excelentes prestaciones así lo permiten; y en ese sentido sería importante que en la Escuela Politécnica del Ejército se considere también la enseñanza de estos sistemas de nueva generación que prometen ser el presente y el futuro de las comunicaciones móviles.



## Referencias Bibliográficas

- [1] MANSI, Flavio, La Evolución de la tecnología de la banda ancha móvil: ¿Qué sigue?, TYN Magazine, <http://www.tynmagazine.com/Note.aspx?Note=333435>, 2009, 18 de octubre de 2010
- [2] AZCOITIA, Santiago, MARTÍNEZ, Ma. Ángeles, El desafío del mercado de la banda ancha móvil, Fundación Telefónica, [http://sociedadinformacion.fundacion.telefonica.com/seccion=1188&idioma=es\\_ES&id=2010062212350001&activo=4.do](http://sociedadinformacion.fundacion.telefonica.com/seccion=1188&idioma=es_ES&id=2010062212350001&activo=4.do), 2010, 18 de octubre de 2010
- [3] Institute of Electric and Electronics Engineers IEEE, IEEE 802.20 Mobile Broadband Wireless Access (MBWA) Vision and Scope, <http://www.ieee802.org/20/index.html>, 18 de octubre de 2010
- [4] Institute of Electric and Electronics Engineers IEEE, IEEE 802.20 Development Plan, [http://www.ieee802.org/20/P\\_Docs/IEEE%20802.20%20PD-07r5.pdf](http://www.ieee802.org/20/P_Docs/IEEE%20802.20%20PD-07r5.pdf), 19 de octubre de 2010
- [5] KLERER, Mark, Introduction To IEEE 802.20 Technical And Procedural Orientation, [http://www.ieee802.org/20/P\\_Docs/IEEE 802.20 PD-04.pdf](http://www.ieee802.org/20/P_Docs/IEEE%20802.20%20PD-04.pdf), 2003, 19 de octubre de 2010
- [6] Institute of Electric and Electronics Engineers IEEE, Standard IEEE 802.20-2008 Air Interface for Mobile Broadband Wireless Access Systems Supporting Vehicular Mobility - Physical and Media Access Control Layer Specification, Agosto de 2008, 18 de octubre de 2010
- [7] Institute of Electric and Electronics Engineers IEEE, IEEE 802.20 PAR FORM, [http://www.ieee802.org/20/P\\_Docs/IEEE 802.20 PD-02.pdf](http://www.ieee802.org/20/P_Docs/IEEE%20802.20%20PD-02.pdf), 19 de octubre de 2010
- [8] Institute of Electric and Electronic Engineer IEEE, MBFDD and MBTDD Wide-band Mode: Technology Overview, <http://www.ieee802.org/20/Contribs/C802.20-05-68r1.pdf>, 20 de octubre de 2010

- [9] Association of Radio Industries and Businesses ARIB, Mobile Broadband Wireless Access Systems (IEEE 802.20 TDD Wideband and 625k-MC Modes application in Japan) , [http://www.arib.or.jp/english/html/overview/doc/1-STD-T97v1\\_0.pdf](http://www.arib.or.jp/english/html/overview/doc/1-STD-T97v1_0.pdf), 20 de octubre de 2010
- [10] Institute of Electric and Electronics Engineers IEEE, MBTDD 625k-MC Technology Overview, <http://www.ieee802.org/20/Contribs/C802.20-05-75r1.pdf>, 20 de octubre de 2010
- [11] Institute of Electric and Electronics Engineers IEEE, MBFDD and MBTDD: Proposed Draft Air Interface Specification, <http://www.ieee802.org/20/Contribs/C802.20-06-04.pdf>, 28 de octubre de 2010
- [12] TECANHUEHUE, Julio, Sistemas CDMA: cdmaOne, cdma2000, Universidad de las Américas Puebla, [http://catarina.udlap.mx/u\\_dl\\_a/tales/documentos/lem/tecuanhuehue\\_r\\_j/capitulo2.pdf](http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lem/tecuanhuehue_r_j/capitulo2.pdf), 2006, 10 de diciembre de 2010
- [13] HERNÁNDEZ, Inmaculada, Modulaciones Codificadas Trellis, Universidad Politécnica de Catalunya, <http://aholab.ehu.es/inma/psc/tema5.pdf>, 2008, 15 de diciembre de 2010
- [14] BEKKERS, Rudi, *Mobile Telecommunications Standards: GSM, UMTS, TETRA, y ERMES*, Primera Edición, Artech House Publishers, Londres 2001, 7 de febrero de 2011
- [15] BOSTELMANN, Gert, *UMTS Design Details and System Engineering*, Segunda Edición, Artech House Publishers, Londres Marzo de 2003, 7 de febrero de 2011
- [16] UMTS-FORUM.ORG, Tecnología UMTS/3G, <http://www.umtsforum.net/tecnologia.asp>, 2001, 7 de febrero de 2011
- [17] LÓPEZ GARCÍA, Jesús, Simulación de Tramas de Comunicación para UMTS, Universidad de las Américas Puebla, [http://catarina.udlap.mx/u\\_dl\\_a/tales/documentos/lem/lopez\\_g\\_j/](http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lem/lopez_g_j/), 2005, 7 de febrero de 2011
- [18] HUÉLAMO, Javier, Visión Arquitectural de la Tercera Generación de Móviles UMTS, Alcatel España S.A., [http://www.umtsforum.net/mostrar\\_articulos.asp?u\\_action=display&u\\_log=15](http://www.umtsforum.net/mostrar_articulos.asp?u_action=display&u_log=15), 2000, 8 de febrero de 2011

- [19] FAJARDO PATRÓN, David, Simulación de Tramas de WCDMA, Universidad de las Américas Puebla, [http://catarina.udlap.mx/u\\_dl\\_a/tales/documentos/lem/fajardo\\_p\\_d/](http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lem/fajardo_p_d/), 2004, 8 de febrero de 2011
- [20] KORHONEN, Juha, *Introduction to 3G Mobile Communications*, Segunda Edición, Artech House Publishers, Londres 2001, 8 de febrero de 2011
- [21] SÁNCHEZ, Rut, 3G SYSTEMS WCDMA (UMTS) & CD-MA2000, Escuela Politécnica Superior de Castelldefels, <http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/3590/2/36412-2.pdf>, 2005, 9 de febrero de 2011
- [22] CISCO SYSTEMS, Understanding SSCOP Messages on Router ATM Interfaces, CISCO, [http://www.cisco.com/en/US/tech/tk39/tk49/technologies\\_tech\\_note09186a0080093d3c.shtml](http://www.cisco.com/en/US/tech/tk39/tk49/technologies_tech_note09186a0080093d3c.shtml), 2007, 10 de febrero de 2011
- [23] RAD COM, UMTS Technology Reference Page, RAD COM Academy, <http://www.protocols.com/pbook/umts.htm>, 10 de febrero de 2011
- [24] BANNISTER, Jeffrey, MATHER, Paul, COOPE, Sebastian, *Convergence Technologies for 3G Networks IP, UMTS, EGPRS and ATM*, Segunda Edición, Wiley, Febrero de 2005, 10 de febrero de 2011
- [25] VALERO, Miguel, RAMOS, Carlos, Tecnología UMTS. Comunicaciones Móviles con WAP, GPRS y UMTS, Universidad Politécnica de Madrid, [http://asignaturas.diatel.upm.es/ccmm/Documentacion/TecnologiaUMTS\\_2008\\_p1.pdf](http://asignaturas.diatel.upm.es/ccmm/Documentacion/TecnologiaUMTS_2008_p1.pdf), 2008, 10 de febrero de 2011
- [26] HERNÁNDEZ, Ángela, Redes Móviles de Tercera Generación, Universidad de Zaragoza, [http://catedratelefonica.unizar.es/tecnologias\\_de\\_red/2006/AccesoRadio\(UMTS\)-2.pdf](http://catedratelefonica.unizar.es/tecnologias_de_red/2006/AccesoRadio(UMTS)-2.pdf), 2006, 11 de febrero de 2011
- [27] MENDO TOMÁS, Luis, Introducción a UMTS, Universidad Politécnica de Madrid, [http://catedra-orange.upm.es/fileadmin/doc/Orange\\_XII06.pdf](http://catedra-orange.upm.es/fileadmin/doc/Orange_XII06.pdf), 2006, 11 de febrero de 2011
- [28] UMTS WORLD, UMTS Security, <http://www.umtsworld.com/technology/security.htm>, 2001, 12 de febrero de 2011

- [29] UMTS WORLD, UMTS Handover, <http://www.umtsworld.com/technology/hand-over.htm>, 2001, 12 de febrero de 2011
- [30] THOMAS, Oliver, RADIUS (Remote Authentication Dial-In User Service), <http://searchsecurity.techtarget.com/definition/RADIUS>, 2006, 23 de abril de 2011
- [31] BOLTON, Walker, XIAO, Yang, GUIZANI, Mohsen, IEEE 802.20: Mobile Broadband Wireless Access, <http://clusterfie.epn.edu.ec/ibernal/html/CURSOS/Marzo07Agosto07/ComInalam/TRabajos/Trabajo2/MobileFi/Grupo9/MobileFi.pdf>, 2007, 23 de abril de 2011
- [32] Institute of Electric and Electronic Engineer IEEE, System Requirements for IEEE 802.20 Mobile Broadband Wireless Access Systems - Version 14, 2006, 25 de abril de 2011
- [33] AARNIKOIVU, Samiseppo, WINTER, Juha, Mobile Broadband Wireless Access, Universidad Tecnológica de Helsinki, <http://www.cse.tkk.fi/fi/opinnot/T-109.7510/2006/MBWA.pdf>, 30 de abril de 2011
- [34] COLEGIO DE ECONOMISTAS DE ASTURIAS, Telefonía de Tercera Generación UMTS, Escuela Banespyme, 30 de abril de 2011
- [35] Ley Especial de Telecomunicaciones Reformada, 15 de julio de 2011
- [36] Reglamento General a la Ley Especial de Telecomunicaciones Reformada, 15 de julio de 2011
- [37] Reglamento para la Prestación de Servicios de Valor Agregado, 15 de julio de 2011
- [38] CONSEJO NACIONAL DE TELECOMUNICACIONES, Plan Nacional de Frecuencias, Marzo de 2008, 15 de julio de 2011
- [39] Kyocera Corporation, KYOCERA presenta iBurst™, tecnología inalámbrica de banda ancha móvil 3.9G, que ofrece alta eficiencia de espectro con menos inversión en América Latina, Mayo de 2009, 15 de julio de 2011
- [40] LAROIA, Rajiv, flash-OFDM: Mobile Wireless Internet Technology, <http://www.ima.umn.edu/talks/workshops/8-8-10.2001/laroia/laroia.pdf>, 15 de julio de 2011
- [41] Reglamento para la Prestación del Servicio Móvil Avanzado, 15 de julio de 2011
- [42] Reglamento para la Prestación de Servicios Portadores, 15 de julio de 2011