



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

TECNOLOGIAS DE TELECOMUNICACION PARA SERVICIOS
DE TERCERA GENERACION

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES

P R E S E N T A :

ENRIQUE ALEJANDRO GUTIERREZ BLANCARTE

DIRECTOR DE TESIS: ING. GUSTAVO ADOLFO OLIVOS ROJAS



CIUDAD UNIVERSITARIA, MEXICO, D. F.,

2004.



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

ESTA TESIS NO SALE
DE LA BIBLIOTECA

Gracias a ti Dios, por dejarme existir.

Gracias a ti mamá, por enseñarme que la sensibilidad es la forma más humana para poder conocer al mundo y que la ilusión siempre existirá desde cualquier rincón, ya que la esperanza es algo que nunca muere.

Gracias a ti papá, por enseñarme que la tenacidad y la perseverancia son las herramientas para alcanzar el éxito de cualquier proyecto que se emprenda, ya que la adversidad es algo que siempre se puede vencer.

Gracias a ti Thais, por sonreír y ver el lado positivo de las cosas proyectando el cariño que siempre has reflejado. Siempre serás la pequeña hermana en donde se refugia la infancia que algún día viví. Cuando el tiempo avance y aún sigamos juntos, el reloj de la casa marcará la misma hora, ya que para nosotros no hay cambios desde el pasado hacia el futuro.

Gracias a mi familia, en donde siempre encontré el cariño, el convivio y la forma de compartir mis ideas, y que con ellos expresé mis deseos de triunfo ante el camino de vida que apenas empezaba.

Gracias al Ing. Gustavo Adolfo Olivos Rojas, que debido a su apoyo y con la colaboración de Ivonne, la realización del presente trabajo fue todo un éxito.

Gracias a todos los profesores, que desde la educación elemental hasta la superior, nunca dejaron de instruirme. El valor del conocimiento no tiene límite y tras haber estado en las aulas varios años, me motiva a proyectar la sabiduría adquirida para los años venideros.

Gracias a todos ustedes amigos, que siempre estuvieron conmigo alentándome en seguir con las tareas que me había encomendado. Sus consejos y el ánimo que inyectaron en mí ser fueron vitales para reconocer que la amistad es una joya invaluable. Nelson, Rangel, Porfirio, Ludwin, Celes, Leonel e Isaías.... el tiempo que pasé con ustedes marcó una etapa importante en mi vida dentro de la Universidad.

Y gracias a todos aquellos que han convivido conmigo aunque sea un pequeño instante de su tiempo, ya que con un mínimo detalle nunca me dejaron de decir que apenas la nueva época comenzaba, una época en donde el sol brillaría e iluminaría el camino del éxito.

Enrique Alejandro

Autorizo a la Dirección General de Bibliotecas de la UNAM a difundir en formato electrónico e impreso el contenido de mi trabajo recepcional.

NOMBRE: *Gutiérrez Blancarte*

Enrique Alejandro

FECHA: *12-abril-94*

FIRMA: *[Firma manuscrita]*

Índice

Introducción.....

Objetivos.....vi

Capítulo 1

Introducción al Sistema de Telefonía Celular Móvil.....1

1.1 Arquitectura General del Sistema de Telefonía Celular Móvil.....2

1.1.1 Unidad Móvil (MS).....3

1.1.2 Radiobase (RBS).....3

1.1.3 Controlador de la Estación Base (BSC).....4

1.1.4 Central de Telefonía Móvil (MSC).....4

1.1.5 Interconexión del Sistema de Telefonía Móvil Celular con la Red Telefónica Pública Conmutada (PSTN).....4

1.2 Desarrollo de las tecnologías estándares.....4

1.2.1 Sistemas analógicos.....5

1.2.1.1 Primera Generación (1G).....5

1.2.2 Sistemas digitales.....6

1.2.2.1 Segunda Generación (2G).....6

1.2.2.2 Generación 2.5 (2.5G).....6

1.2.2.2.1 GPRS.....7

1.2.2.2.2 EDGE.....7

1.2.2.3 Tercera Generación (3G).....7

1.3 Espectro radioeléctrico.....11

1.3.1 Banda celular.....12

1.3.2 Banda PCS.....13

1.4 Tecnologías para sistemas analógicos y/o digitales.....15

1.4.1 Sistemas analógicos.....16

1.4.1.1 FDMA.....16

1.4.1.1.1 AMPS.....17

1.4.2 Sistemas digitales.....18

1.4.2.1 TDMA.....18

1.4.2.1.1 GSM.....19

1.5 CDMA como Técnica de Acceso digital.....20

1.5.1 CDMA2000.....22

1.5.1.1 CDMA2000 1X.....23

1.5.1.2 CDMA2000 1xEV.....23

Capítulo 2

Entidades de Red en CDMA2000 e Interoperabilidad.....25

2.1 Arquitectura de un Sistema Inalámbrico para Telefonía Celular.....26

2.2 Modelos de Referencia TR-45 y TR-46.....26

2.2.1 Elementos del Modelo de Referencia TR-45 y TR-46 para CDMA.....26

2.2.1.1 Mobile Station (MS).....26

2.2.1.2 Base Station (BS).....26

2.2.1.2.1 Base Transceiver System (BTS).....27

2.2.1.2.2 Base Station Controller (BSC).....27

2.2.1.3 Mobile Switching Center (MSC).....27

2.2.1.4 Home Location Register (HLR).....27

2.2.1.5 Data Message Handler (DMH).....27

2.2.1.6 Visited Location Register (VLR).....27

2.2.1.7 Authentication Center (AC).....28

2.2.1.8 Equipment Identity Register (EIR).....28

	2.2.19	Operation Systems (OS).....	28
	2.2.110	Interworking Function (IWF).....	28
	2.2.111	External Networks.....	28
	2.2.2	Estandarización de la Interfaz MSC-BS para CDMA.....	29
	2.2.3	Configuraciones de Arquitecturas soportadas en CDMA.....	30
2.3		Arquitectura para una Infraestructura con Técnica de Acceso CDMA2000 1x.....	31
	2.3.1	Modelo de Referencia para CDMA2000 1x.....	33
	2.3.11	MS.....	34
	2.3.111	Arquitectura del MS 2G.....	34
	2.3.112	Arquitectura del MS 3G.....	36
	2.3.113	Sistema de radiolocalización gpsOne® en aplicaciones residentes en MS 3G.....	37
	2.3.12	RBS.....	40
	2.3.13	BSC.....	43
	2.3.14	MSC.....	43
	2.3.15	HA.....	44
	2.3.16	FA.....	44
	2.3.17	IWF.....	44
2.4		Nuevas entidades de red en la Infraestructura de CDMA2000 1x.....	44
	2.4.1	PDSN.....	44
	2.4.2	PCF.....	45
	2.4.3	AAA.....	46
2.5		Otras entidades de red en CDMA2000 1x.....	47
	2.5.1	AC.....	47
	2.5.2	CDCP.....	47
	2.5.3	CDGP.....	47
	2.5.4	CDIS.....	48
	2.5.5	CDRP.....	48
	2.5.6	CF.....	48
	2.5.7	CRDB.....	48
	2.5.8	CSC.....	48
	2.5.9	DCE.....	48
	2.5.10	DF.....	48
	2.5.11	ESME.....	48
	2.5.12	ESNE.....	48
	2.5.13	ISDN.....	49
	2.5.14	IP.....	49
	2.5.15	IAP.....	49
	2.5.16	LPDE.....	49
	2.5.17	MWNE.....	49
	2.5.18	MC.....	49
	2.5.19	ME.....	49
	2.5.20	MPC.....	49
	2.5.21	MT0.....	50
	2.5.22	MT1.....	50
	2.5.23	MT2.....	50
	2.5.24	NPDB.....	50
	2.5.25	OSF.....	50
	2.5.26	OTAF.....	50
	2.5.27	PDN.....	50
	2.5.28	PDE.....	50
	2.5.29	PSTN.....	51
	2.5.30	SCP.....	51
	2.5.31	SN.....	51
	2.5.32	SME.....	51
	2.5.33	TAm.....	51
	2.5.34	TE1.....	51
	2.5.35	TE2.....	51
	2.5.36	UIM.....	51
	2.5.37	Vehicle.....	51
	2.5.38	VMS.....	52
	2.5.39	WNE.....	52
2.6		Puntos de referencia para CDMA2000.....	52

2.6.1	Punto de Referencia A ₁	52
2.6.2	Punto de Referencia A ₂	52
2.6.3	Punto de Referencia A ₃	52
2.6.4	Punto de Referencia A ₄	52
2.6.5	Punto de Referencia A _{quarter}	52
2.6.6	Punto de Referencia A _{quarter}	52
2.7	Interfaces definidas para CDMA2000 1x.....	53
2.8	Planos funcionales MSC-BS en CDMA2000 1x.....	54

Capítulo 3

	Descripción de la Capa Física en estándares CDMA.....	56
--	--	-----------

3.1	Conceptos básicos para técnicas de "Spread Spectrum".....	57
3.1.1	Orthogonal Spreading.....	59
3.1.2	PN Codes (Pseudo Random Noise Codes).....	61
3.1.2.1	Offsets en PN Codes (Masking).....	61
3.1.2.2	Long codes.....	61
3.1.2.3	Short codes.....	62
3.2	Módulos del sistema CDMA empleados en la codificación de los Canales del Forward Link y Reverse Link.....	62
3.3	Técnicas de codificación para generación de Canales de cdmaOne®.....	68
3.3.1	Codificación en Canales del Forward Link.....	68
3.3.1.1	Descripción de las operaciones en el Forward Link.....	68
3.3.2	Codificación en Canales del Reverse Link.....	72
3.3.2.1	Descripción de las operaciones en el Reverse Link.....	72
3.4	Técnicas de codificación para generación de Canales en CDMA2000 1x.....	73
3.4.1	Codificación en Canales del Forward Link.....	73
3.4.1.1	Descripción de las operaciones en el Forward Link.....	73
3.4.1.1.1	Canales Físicos del Forward Link.....	73
3.4.1.1.2	Radio Configurations para SR1 y SR3.....	77
3.4.1.1.3	Walsh Codes de longitud variable.....	78
3.4.1.1.4	Estructura de Canales para codificación y modulación para RC en SR1.....	79
3.4.2	Codificación en Canales del Reverse Link.....	88
3.4.2.1	Descripción de las operaciones en el Reverse Link.....	88
3.4.2.1.1	Canales Físicos del Reverse Link.....	88
3.4.2.1.2	Estructura de Canales para codificación y modulación para RC en SR1.....	91
3.5	Eficiencias del Forward Link en CDMA2000 1x.....	93
3.6	Eficiencias del Reverse Link en CDMA2000 1x.....	93

Capítulo 4

	Diseño de Infraestructura en CDMA, Técnicas de Operación y Mantenimiento y Parámetros adicionales 3G.....	95
--	--	-----------

4.1	Cobertura y Capacidad.....	96
4.1.1	Límites de la Cobertura.....	97
4.1.2	Clasificación de las categorías destinadas al Servicio Celular.....	98
4.1.3	Potencia manejada en los Canales de CDMA y repercusión en la razón $\frac{E_b}{I_t}$	99
4.1.4	Confiabilidad de la Cobertura.....	100
4.1.5	Cálculo de la razón SNR en el Reverse Link.....	101
4.1.6	Cálculo del Ruido en el Receptor.....	102
4.1.7	Phase Planning.....	102
4.1.8	Load Factores en el Reverse Link y en el Forward Link de CDMA.....	103
4.2	Planificación de los PN-Offsets para CDMA.....	105
4.2.1	Adjacent PN Offset Alias.....	107
4.2.2	Co-PN Offset Alias.....	108
4.2.3	Search Windows o Ventanas de Búsqueda.....	108
4.3	Tarifación en Sistemas de Tercera Generación.....	109
4.3.1	Tarifación en CDMA2000 1x.....	115
4.3.1.1	Función tarifaria en AAA para CDMA2000 1x.....	115

4.4	Interoperabilidad y Compatibilidad	117
4.5	Operación y Mantenimiento en CDMA2000 1x	118
4.5.1	EEM (Embedded Element Management).....	120
4.5.1.1	Fault Management (FM).....	120
4.5.1.2	Performance Management (PM).....	120
4.5.1.3	Configuration Management.....	120
4.5.2	SNM (Subnetwork Management).....	121
4.5.3	O&M Intranet (Operation and Maintenance).....	121
4.5.4	RNM (Radio Network Management).....	121
4.5.5	Software de monitorización; evaluación del desempeño tráfico y transporte, optimización y diseño de la Red.....	122

Capítulo 5

Packet Data Calls en CDMA2000 1x

	Seguimiento de una Instancia de Servicio de Paquetes de Datos	125
--	--	------------

5.1	Aplicaciones de manejo de datos para Sistemas de Tercera Generación	126
5.2	Layers para CDMA2000 1x	127
5.2.1	OSI Layer 7.....	128
5.2.2	OSI Layer 6.....	128
5.2.3	OSI Layer 5.....	128
5.2.4	OSI Layer 4.....	128
5.2.5	OSI Layer 3.....	130
5.2.6	OSI Layer 2.....	130
5.2.6.1	Subcapas MAC y LAC.....	130
5.2.7	OSI Layer 1.....	131
5.3	Packet Data Calls en CDMA2000 1x	131
5.3.1	Estados para proporción de Servicios de Paquetes de Datos.....	131
5.3.2	DRS para soporte del Dormant State.....	131
5.3.3	Algoritmo para la elección del PDSN para la conexión A10.....	132
5.4	Call Flows	133
5.4.1	Inicialización de la Instancia del Servicio de Paquete de Datos por el MS.....	133
5.4.1.1	Activación de una instancia cuando el Servicio de Paquete de Datos se encuentra en Estado Dormant Estado Null/Inactive.....	133
5.4.1.1.1	Análisis del Caso en Interfaces A8/A9.....	133
5.4.1.1.2	Análisis del Caso en Interfaces A10/A11.....	135
5.4.2	Liberación de una Instancia del Servicio de Paquete de Datos inicializado por el MS ó la BS finalizando en un Estado Dormant.....	136
5.4.3	MS Power Down.....	138
5.4.3.1	Análisis del Caso en Interfaces A8/A9.....	138
5.4.3.2	Análisis del Caso en Interfaces A10/A11.....	139
5.5	IP Móvil para Soporte de Packet Data Calls	140
5.5.1	Conceptos y ventajas de IP Móvil en el Soporte de Packet Data Calls.....	140
5.5.2	Funcionamiento del IP Móvil.....	141
5.5.3	Procedimientos del IP Móvil.....	142
5.5.3.1	Descubrimiento de agente.....	142
5.5.3.2	Registro para MIP.....	142
5.5.3.3	Encaminamiento de Paquetes y Tunneling.....	143
5.5.3.3.1	Encaminamiento de Paquetes.....	143
5.5.3.3.2	Tunneling.....	143
5.5.3.3.3	Encapsulado IP-in-IP.....	144
5.5.3.3.4	Encapsulado mínimo.....	145
5.5.3.3.5	Encapsulado GRE para CDMA2000 1x.....	145
5.5.3.3.6	IPSec para el Tunneling.....	145

Capítulo 6

	Caso Práctico: Alojamiento de aplicaciones en el Sistema BREW® y su esquema de funcionamiento en una Tecnología de Tercera Generación	147
--	--	------------

8.1	Desarrollo de aplicaciones bajo BREW[®]	148
8.2	Solución BREW[®] (BDS)	148

Conclusiones	153
---------------------	------------

Apéndice	157
-----------------	------------

Referencias Bibliográficas	162
-----------------------------------	------------

Referencias Electrónicas	163
---------------------------------	------------

Introducción

Conforme han evolucionado las comunicaciones inalámbricas se han presentado diversas generaciones que se han caracterizado por el uso de diferentes tecnologías tanto en Hardware como en Software que han permitido brindar el servicio de Telefonía Celular. Debido a que el Espectro Radioeléctrico es un recurso limitado del cual dependen muchos de los sistemas de telecomunicaciones y que el uso eficiente de él es un factor primordial para la entrega de servicios se tuvieron que evolucionar las técnicas de acceso que caracterizaron a las generaciones de la Telefonía Celular Móvil. A grandes rubros, la transición de las comunicaciones analógicas a las comunicaciones digitales fue un paso primordial para que se evitara que usuarios ajenos o terceros fueran capaces de interceptar llamadas ajenas y de esta manera se apropiaran sobre información de carácter privado. Asimismo los Equipos de Radiocomunicaciones destinados a dar soporte en la Red Inalámbrica evolucionaron convirtiéndose en equipos menos voluminosos recurriendo a la utilización de menos potencia en sus salidas con el fin de evitar fenómenos como la interferencia, ruido, gran número de llamadas caídas, y un nivel de QoS (Quality of Service) muy reducido.

El presente trabajo explica los componentes necesarios para el manejo de aplicaciones de datos para una Tecnología de Tercera Generación, misma que se integra al esquema de BREW[®]. Dicha solución va desde la creación de las aplicaciones que se alojan en la Unidad Terminal, hasta la integración de servidores de QUALCOMM[®], del proveedor de Sistema de Telefonía Celular Móvil y de los desarrolladores, al Sistema de Tercera Generación. Se mencionará la interrelación de dichos agentes, en donde el Laboratorio UNAM-QUALCOMM[®] es partícipe, gracias al desarrollo de aplicaciones móviles destinadas en "Carriers" tanto nacionales como internacionales.

Es por ello que en el Primer Capítulo de la presente tesis se hace referencia a la evolución de los Sistemas de Redes Inalámbricas así como las características referentes a las distintas técnicas de acceso. Es necesario el estudio del funcionamiento de estas técnicas para que de esta forma, se puedan definir las ventajas y desventajas que una tiene con respecto a la otra y por ello la razón del porque las tecnologías tales como AMPS (Advanced Mobile Phone Service), GSM (Global System for Mobile Communications) y estándares como CDMA2000 (Code Division Multiple Access 2000), WCDMA (Wideband Code Division Multiple Access), escogen una técnica de acceso en particular como medio para ofrecer un servicio de Telefonía Móvil.

Asimismo se detalla sobre los componentes básicos o Entidades de Red que componen a cualquier Sistema de Telefonía Celular Móvil (Unidad Móvil, Estación Base, Central de Telefonía Móvil), independientemente de la Técnica de Acceso a que se recurra, involucrándose con la Red Telefónica Pública Conmutada. Las definiciones concernientes a estos conceptos se vuelven primordiales para el entendimiento de redes más complejas (primordialmente en donde no solo se manejan llamadas de voz sino también Instancias o Servicios de Paquetes de Datos). Es necesario el entendimiento sobre el transporte de información en la interfaz de aire (entiéndase como interfaz el

elemento necesario para poner en comunicación dos Entidades de Red) que dispone de una Red Celular, la cual se encuentra constituida por la parte inalámbrica o “Access Network”. Para fines prácticos denominaremos a este subsistema como RAN y estará sustentada por las operaciones realizadas entre la Unidad Móvil y la Estación Base, tomando en cuenta que la comunicación entre las dos Entidades de Red debe de ser bidireccional (Forward Link y Reverse Link). El siguiente subsistema que constituye al Sistema de Telefonía Móvil, denominado como “Core Network” provee los switches necesarios que dan movilidad a la Unidad Móvil dentro de la red, así como el acceso hacia otras redes externas.

Como el fin de la presente tesis es describir de una manera más detallada sobre el Sistema de Tercera Generación, en el Capítulo 1 se mencionan las variantes que encierra la técnica de acceso múltiple CDMA (Code Division Multiple Access): CDMA2000 1x, CDMA2000 1xEV-DO, CDMA2000 1xEV-DV. CDMA2000 será el tópico a tratar en donde se detallarán los siguientes rubros: descripción de las Entidades de Red, descripción de los esquemas de modulación y codificación del canal (correspondientes a la Capa Física), planificación y operación (basándose en parámetros de interoperabilidad entre las Entidades de Red), seguimiento de una Instancia de Servicio de Paquete de Datos mediante la interrelación de los Componentes de una Red de Tercera Generación y finalmente la integración del esquema BREW[®] (Binary Runtime for Environment Wireless) como solución de participación de agentes externos.

Para el Segundo Capítulo, se establecen los requerimientos de las Entidades de Red para ofrecer un servicio de Tercera Generación así como la comparación con los esquemas usados en un Sistema de Segunda Generación basándose en CDMA.

Para dicho Capítulo, se empieza a describir la Arquitectura de la Unidad Móvil de Tercera Generación (procesador, tarjetas multimedia, memoria, entre otros) en comparación con una Arquitectura 2G de la Unidad Móvil.

Posteriormente, debido a la compatibilidad que presenta CDMA2000 con respecto a CDMA IS-95, se describen los cambios mínimos que deben de realizarse en la Estación Base con el fin de incrementar la capacidad de la interfaz de aire y la cobertura con que se llegue a destinar el Servicio.

Asimismo se hace una enumeración y una caracterización de las nuevas entidades requeridas en CDMA2000 para ofrecer servicios de conmutación de paquetes y flujo de mensajes para darle seguimiento a una Instancia de Servicio de Paquete de Datos. La definición de los puntos de referencia y de las interfaces también se vuelven un factor primordial cuando se describe el Modelo de Referencia CDMA2000, ya que con el establecimiento de éstas últimas, se permite la interconexión de equipos de diferentes proveedores. Si no existen interfaces definidas, ni una estandarización que regule la comunicación entre las entidades entonces la instalación es de carácter “propietario” impidiendo la interoperabilidad entre dos redes.

Por otro lado, se hace mención del sistema de radiolocalización que se puede implementar en una red CDMA gracias a la utilización del servidor gpsOne[®] localizado en el PDE (Position Determination Entity) de la red. La radiolocalización se basa en el uso de la Señal Piloto del Forward Link así como la asistencia de la señal que recibe del sistema GPS (Global Positioning System).

En el Tercer Capítulo se limita a hablar acerca de la Capa Física del sistema CDMA2000 (Physical Layer) en donde se definen las características de las señales tanto del Forward Link como del Reverse Link después de haber pasado por los procesos de codificación del canal y modulación.

Para el entendimiento de estos dos últimos conceptos, se definen los términos relativos a las técnicas del “Spread Spectrum”, es decir, la explicación en el manejo de secuencias ortogonales (Walsh Codes) con el fin de asegurar la privacidad de los datos al ser enviados por la interfaz de aire. Asimismo con el empleo de los “Walsh Codes”, se asegura la ortogonalidad de todos los canales evitando de esta manera la interferencia en el sistema.

En la codificación de canal se manejan términos como Codificador Convolutivo, Entrelazador, Turbo Encoder, Repetidor de Símbolos, Decimador, “Puncturing” que son importantes en cuanto a la manipulación de la secuencia de datos que viajan por el canal ya que permiten la adecuación en el manejo de la tasa de símbolos, realizar el proceso de “scrambling” en los “Code Symbols”, introducir bits adicionales que provean la capacidad del FEC (Forward Error Correction), entre otras funciones. Estos elementos son indispensables en un Sistema de Comunicaciones Digitales dentro de la Telefonía Celular con el fin de que las entidades integrantes de la Red Inalámbrica mantengan una interconexión.

Con la actualización que se lleve a cabo sobre la infraestructura de CDMA IS-95 para emigrar hacia CDMA2000, se puede realizar de tal manera que se guarde compatibilidad con su antecesor, con el fin de que se puedan utilizar las “Radio Configurations” a ciertas tasas de transmisión, características de modulación y tasa de esparcimiento que sean comunes a ambos sistemas.

Las mejoras implementadas en la Capa Física de la red (tal como el empleo de “Walsh Codes” de longitud variable así como la inserción de Canales Suplementarios) permiten la transmisión a altas tasas de paquetes de datos, por otra parte, se hará mención a “grosso” modo de que con las mejoras hechas en la Capa de Enlace, se permite la entrega de datos con un nivel de QoS que dependerá sobre la prioridad que se tenga entre las aplicaciones manejadas (Subcapa MAC).

Para el Capítulo 4 de la presente tesis se discuten las pruebas y parámetros adicionales en sistemas CDMA. Para abordar tal tema, se discuten los puntos de “Cobertura” y “Capacidad” de una Red Celular así como los elementos necesarios y las etapas por las cuales un diseñador de red tiene que evaluar con el fin de colocar el Equipo de Radiofrecuencia que de soporte a la Arquitectura de Telefonía Móvil. Para ello, el

diseñador debe de conocer los “Load Factors” tanto para el Reverse Link como en el Forward Link con el fin de establecer los límites de la “Capacidad” del sistema.

Por otra parte, se debe de realizar una planificación de los “PN Offsets” con el fin de que el número de éstos sea un valor óptimo, ya que si el número es menor entonces la distancia de reuso resultante de los mismos será mucho menor, y por lo tanto nuestro diseño no será el óptimo. Asimismo un buen diseño requiere que no se produzca algún tipo de interferencia cuando dos “PN Offsets” pertenecientes a diferentes RBS entren a una misma ventana de búsqueda (Search Window) reflejándose en una conexión no exitosa. Asimismo se describe el caso en donde dos “PN Offsets” iguales pero pertenecientes a diferentes Sectores, caen dentro de una misma ventana de búsqueda. Las situaciones anteriores vienen a afectar la distancia de separación o de reuso, y por lo tanto afectará a la ubicación de los Sectores Celulares. Como el tamaño de las ventanas de búsqueda afectan en la recepción de las Señales Piloto mandadas al MS, entonces también es necesario obtener un valor óptimo de aquéllas para evitar interferencias.

Refiriéndose a otro rubro, el esquema de tarificación se vuelve primordial en una red destinada al servicio de Telefonía Móvil de Tercera Generación ya que los participantes en la proporción de contenido para una aplicación de multimedia en particular tienen que incluirse dentro de la red y definir interfaces que permitan la interoperabilidad entre las Entidades de Red con el Sistema de Tarificación. Por ello es que el AAA de la red CDMA2000 entre una de sus funciones, provee la capacidad de llevar el “Accounting” sobre los paquetes de datos que se manejan en una aplicación y con ello generar los CDR (registros) que determinen características sobre el volumen manejado, la duración, tipo de contenido y nivel de QoS para fijar un esquema de “billing” que finalmente le sea proporcionado al usuario final vía “Carrier”.

Otro aspecto discutido en este Capítulo es la compatibilidad ofrecida por las distintas tecnologías, denotando de esta forma que, CDMA2000 siendo la evolución natural del sistema CDMA IS-95 y que ofrece una compatibilidad pensada en aquellos proveedores que disponían de la tecnología antecedente, se perfila paralelamente como ser uno de los varios estándares mencionados para el IMT-2000 (International Mobile Telecommunications-2000) para brindar servicios de Tercera Generación. La búsqueda de un “Roaming” Global se vuelve en un idealismo debido a que los proveedores cuentan con diversas tecnologías para brindar Servicios de Telefonía que para diversos casos no ofrecen algún tipo de compatibilidad, como es el caso de WCDMA y CDMA2000 (aunque se basen en el mismo principio del “Spreading”). WCDMA es el seguimiento evolutivo de tecnologías tales como GSM y GPRS (General Packet Radio System) mientras que CDMA2000 lo es para CDMA IS-95. La tecnología que ofrezca mayor madurez y cobertura será la dominante entre los proveedores, y en este caso, debido a que GSM ha tenido mucha penetración en el Viejo Continente y que asimismo se ha establecido como una tecnología de un Sistema de Segunda Generación (antes que CDMA), WCDMA se perfila como el marco dominante en el mercado de las comunicaciones inalámbricas.

Un último apartado constituye a este Capítulo, el cual establece la Operación y Mantenimiento de la red CDMA2000 por medio de servidores y Software de

configuración que ayuden en conjunto a la detección de fallas de los nodos dentro de la red, así como la actualización y destino de nuevas funciones hacia las Entidades de Red, para ello se cuenta con módulos como el RNM (Radio Network Management), EEM (Embedded Element Management) así como Software de monitorización; evaluación del desempeño tráfico y transporte, optimización y diseño de la red. Asimismo los servicios de Operación y Mantenimiento (O&M) que se ofrezcan deben ser compatibles con CDMA IS-95, mientras los proveedores realizan la transición del Sistema de Segunda Generación al Sistema de Tercera Generación. Resulta evidente que el análisis de resultados sobre el estado de nodos se hace mediante diferentes protocolos y bases de datos. La concentración de toda la funcionalidad del O&M en CDMA IS-95 residía en el BSM (Base Station Management) mientras que en un Sistema de Tercera Generación se han repartido las funciones en distintos módulos para la actualización rápida del sistema.

Finalmente como parte de la aplicación de la presente tesis y como integración de los conceptos descritos de los Capítulos anteriores, se ha descrito el seguimiento de una Instancia de Servicio de Paquete de Datos (Call Flows) mediante la interrelación y el intercambio de mensajes entre las diversas Entidades de Red. Asimismo se hace una explicación de la estratificación o las Capas constituyentes de la red CDMA2000 en donde las mejoras residen sobre las Capas Física, Enlace y de Red para que, de esta manera, el usuario pueda tener acceso al sistema mediante una aplicación que le permita el intercambio de paquetes de datos.

En este Capítulo, es donde se recurre al uso de las definiciones de las Interfaces para CDMA2000, las conexiones necesarias o desconexiones de éstas (A8, A9, A10, A11) para la inicialización de una Instancia de Paquete de Datos o la liberación de la misma.

Una vez teniendo el enlace establecido (Protocolo Punto a Punto) entre la Unidad Móvil y el PDSN (Packet Data Service Node), se describe el procedimiento para la autorización y la autenticación de la Unidad Móvil, así como la entrega de movilidad a la Unidad Terminal mediante el Registro para "IP Móvil" haciendo uso de los agentes HA (Home Agent) y FA (Foreign Agent). La comunicación entre éstos se logra mediante el "tunneling" y encapsulamiento de paquetes. Estos dos últimos términos se describen como mecanismos que proveen seguridad al usuario, previniendo a que los agentes HA y FA interactúen con otras Unidades Móviles que no estén filtrados con la Sesión Activa, haciendo que la VPN (Virtual Private Network) sea una vía segura para la entrega de información a través de la Red Pública (Internet) o Intranet.

Finalmente se analizará, el alojamiento de aplicaciones en la granja de servidores BREW[®] permitiendo que el usuario final pueda realizar la descarga de éstas mediante la interfaz de aire (OTA). La granja de servidores tienen que ser localizados dentro de la infraestructura de una Tecnología de Tercera Generación con el fin de que se originen registros relacionados con la descarga de las aplicaciones, fenómeno que está relacionado con una gran cantidad de rubros (mismos que dependerán del perfil del usuario y en la forma de adquisición de una aplicación, que determinarán la vigencia y uso de la misma). La solución BREW[®] proporciona la interacción de agentes externos que son propios de

un Sistema de Tercera Generación, y que sin duda, el desarrollo realizado con las aplicaciones tienen un valor y “rol” desde su creación en código semejante a C.

Objetivos

La presente tesis tiene como objetivo el conocer la arquitectura o infraestructura para alojar un Sistema de Tercera Generación, enfocándose primordialmente al sistema CDMA que se vuelve la técnica de acceso preferente para brindar los servicios pertenecientes a esta generación. Como estándar se hace referencia a CDMA2000, resultado de la evolución de CDMA IS-95. Asimismo se ahonda sobre la Capa Física del estándar CDMA2000 con el fin de denotar las mejoras sobre la tecnología anterior conocida como CDMA IS-95 y con ello brindar una mayor tasa de datos y aumentar la capacidad del sistema. Aunado con las mejoras en los componentes de la red tanto en Hardware como en Software es posible el manejo de aplicaciones móviles que soporten el manejo de datos. Es por ello, que a partir del entendimiento sobre el funcionamiento de la arquitectura 3G, se pueda explicar la introducción de la solución BREW[®] para el alojamiento de las aplicaciones desarrolladas en el Laboratorio UNAM-QUALCOMM[®].

Con el conocimiento de la infraestructura y de la interrelación de las Entidades de Red, se introducen nuevos mecanismos que soporten el control en la operación de dichos componentes, característicos de esta generación, y que sin duda, influyen en la entrega de los servicios de valor agregado al usuario final. Las mejoras introducidas en las Tecnologías de Telecomunicación para Tercera Generación obligan a tener una calidad de servicio superior a sus antecesores, mismas que serán explicadas a lo largo de esta tesis.

Capítulo 1

Introducción al Sistema de Telefonía Celular Móvil

1.1 Arquitectura General del Sistema de Telefonía Celular Móvil

Debido a la creciente demanda de mejoras en las comunicaciones inalámbricas por parte de los usuarios, que desean poder trasladarse a través de edificios, ciudades o países se han desarrollado técnicas de telecomunicación que permiten prestar servicios en los cuales se ofrecen mayor capacidad y mayor calidad al usuario.

Para llevar a cabo el funcionamiento de estos servicios es necesario contar con los elementos suficientes que conformen la infraestructura de la Red Celular. Es decir, se deben de disponer dentro de un sistema cuyo fin sea proporcionar el servicio de Telefonía Celular.

La estructura de la red se basa en la conexión de las Unidades Móviles al sistema a través de una serie de Radiobases (RBS) repartidas en un área geográfica, las cuales dependen de un sistema de conmutación, permitiendo la interconexión entre RBS y la conexión del sistema a la Red Pública de Telecomunicaciones.

El servicio de Telefonía Celular tiene como función el de proporcionar “Cobertura” a través de un territorio particular, llamado región de “Cobertura” o mercado. La interconexión de muchos de estos sistemas define una Red Inalámbrica capaz de proporcionar servicios a los usuarios móviles a través de un país o continente.

La zona de “Cobertura” que presta el servicio de Telefonía Celular, se divide en áreas más pequeñas conocidas como células; cada una de ellas es atendida por una Estación Base (BS), mismas que al agruparse conforman los “clusters”. El número de canales de radio se distribuyen en estas células repartiendo eficientemente el uso del espectro (con el fin de que éste puede ser reutilizado en todas las células) cuidando de evitar interferencias con células próximas.

Los elementos básicos de una Red Celular son los siguientes: Unidad Móvil o Equipo Terminal (MS), Central de Telefonía Móvil (MTSO o MSC), Radiobases (RBS), Controlador de la Estación Base (BSC) y finalmente la Red Telefónica Pública Conmutada (PSTN) que aunque no es un elemento propio de la Red Celular, se integra a la misma para ligar el sistema móvil al servicio de la Telefonía Fija. (Véase Fig. 1.1).

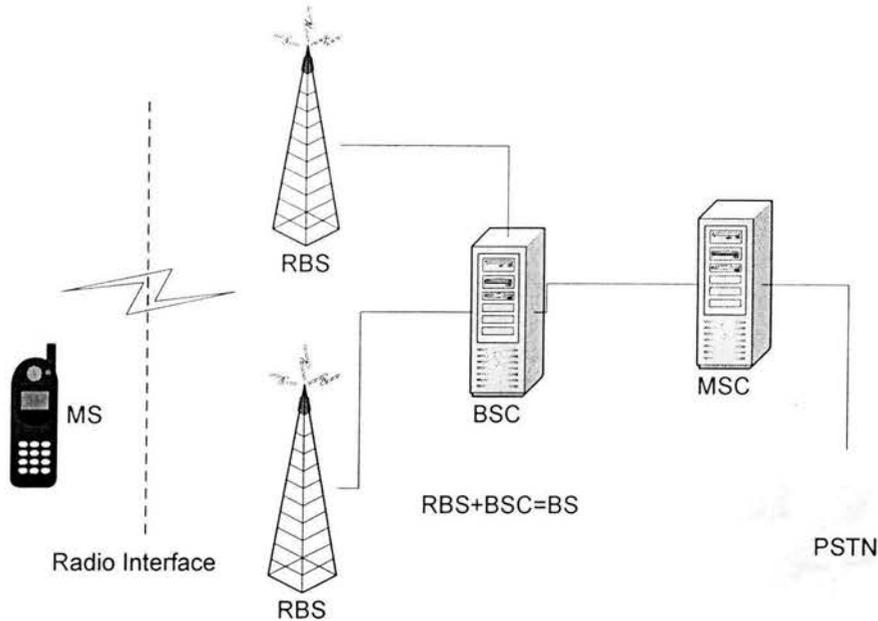


Fig. 1.1 Componentes de un servicio de Telefonía Celular

1.1.1 Unidad Móvil (MS)

En general, es el equipo que proporciona las funciones necesarias para la ejecución de los protocolos de acceso por el usuario. También se le conoce como Equipo Terminal o “Handset”.

La Unidad Móvil es el grupo funcional del lado del usuario (interfaz usuario-red). A través de las Unidades Móviles los usuarios finales obtienen el servicio de telefonía móvil. Además de la transmisión de voz, el MS supeditado al control del sistema, tiene la capacidad para sintonizar cualquier canal de Radiofrecuencia y transmitir en un nivel de potencia determinado.

1.1.2 Radiobase (RBS)

Es el equipo que se encarga de comunicar a la Central de Telefonía Celular con todas las Unidades Móviles que se encuentren dentro del área de “Cobertura”, por lo tanto tiene la responsabilidad de atender las llamadas originadas o destinadas en dicha área.

Entre sus funciones principales locales están: Control, Monitoreo y Supervisión de las llamadas, además de la recomendación de transferir una llamada (Handoff) al sistema. Asimismo sirve como control central de todos los usuarios de una determinada célula. Los MS se comunican directamente con la RBS, la cual sirve como una estación retransmisora de potencia. Las Unidades Móviles transmiten a la RBS y ésta es la encargada de emitir esas transmisiones a una potencia mayor. La RBS puede mejorar la calidad de la transmisión, pero no puede incrementar la calidad de los canales, dentro del ancho de banda fijo de la red (dependiendo de la tecnología).

El equipo que tiene una RBS consiste en una unidad de control, antenas, una planta de alimentación, un transceptor de radio, un amplificador de potencia y terminales de datos además de equipos de control y administración. Como se ha mencionado, constituye un control central de todos los usuarios de la célula.

1.1.3 Controlador de la Estación Base (BSC)

Cabe mencionar que existe un Controlador anexo a las operaciones de la RBS y es el BSC (Base Station Controller) el cual es el equipo de dirección y de manejo de la interfaz de radio así como el que provee los recursos de la red, proporcionándole movilidad al Equipo Terminal. Al conjunto del BSC y de la RBS se denominará simplemente como BS.

1.1.4 Central de Telefonía Móvil (MSC)

Es una Central de Conmutación dedicada especialmente a dar servicio celular. Además de realizar funciones relativas al tratamiento, control de procesamiento, establecimiento y realización de llamadas, (lo cual incluye monitoreo, señalización, conmutación y control de los canales de Radiofrecuencia), también sirve de acceso entre el MS y la Red Pública de Telefonía Fija y otras áreas de servicio celular. Una función importante es la de monitorear y administrar los recursos de la red como los son el tráfico y asignación de canales.

Los servicios de conmutación y control permiten tener el manejo en la administración de las RBS que se encuentran distribuidas sobre un área de “Cobertura” del sistema. El Controlador de sitio de células está computarizado y asimismo se encarga de recibir la información que le llega de la RBS mediante enlaces de información dedicados. Por lo tanto la Central de Telefonía Móvil, constituye una administración centralizada y el mantenimiento crítico para toda la red e interfaces con la Red de Telefonía Pública Conmutada (PSTN).

Otra función de la Central de Telefonía Móvil es llevar un registro de cada llamada realizada para fines de facturación.

1.1.5 Interconexión del Sistema de Telefonía Móvil Celular con la Red Telefónica Pública Conmutada (PSTN)

Para integrar el Sistema de Telefonía Celular, las Centrales de Telefonía Móvil se interconectan a una o más Centrales de la Red Pública de Telefonía Fija, a fin de permitir el acceso para los usuarios de Telefonía Celular con los usuarios de la Red Fija. No sólo es importante la comunicación entre los mismos usuarios móviles, sino que éstos puedan comunicarse con los usuarios ajenos a la Red Inalámbrica (Red Fija) y viceversa.

1.2 Desarrollo de las tecnologías estándares

En el año de 1983 en Estados Unidos de Norteamérica se puso en operación el primer Sistema de Red Celular comercial americano en la ciudad de Chicago debido a los esfuerzos involucrados para crear un servicio comercial de Telefonía Celular.

A partir de este hecho, en distintas naciones la Telefonía Celular se diseminó como una alternativa a la telefonía convencional inalámbrica, conforme dicha tecnología fue madurando y el número de suscriptores empezó a incrementarse, el servicio empezó a saturarse debido a la restringida banda destinada para tal servicio.

Debido a la limitante antes descrita, surgió la necesidad de desarrollar diversas formas de acceso múltiple al canal (conocidas también como técnicas de acceso múltiple) y con ello dar el paso de los sistemas analógicos a los digitales optimizando la utilización del espectro. Con el fin de diferenciar una etapa de la otra, la Telefonía Celular se ha caracterizado por contar con diferentes generaciones.

1.2.1 Sistemas analógicos

1.2.1.1 Primera Generación (1G)

La Primera Generación (1G) de la telefonía móvil hizo su aparición en 1979 y se caracterizó por ser analógica empleando la técnica FDMA. El Sistema Celular basado en la Primera Generación se centra esencialmente en la transmisión de voz aunque se inician las primeras pruebas para la transmisión de datos.

El término analógico obedece a que las señales de voz no son sometidas a un proceso de codificación antes de ser transmitidas en una portadora de Radiofrecuencia (RF). Sin embargo, el comando y el control de la red del Sistema Celular son digitales.

Como se ha mencionado, el usuario accede al sistema por la técnica de FDMA. Es decir, cuando una llamada tiene éxito y se logra una conexión, al usuario le es asignada una banda de frecuencia exclusivamente para su uso y que finalmente se liberará una vez que se haya finalizado la llamada.

Existen numerosos sistemas analógicos clasificados en esta generación. Entre ellos se encuentran: NMT (Nordic Mobile Telephone), AMPS (Advanced Mobile Phone Service), TACS (British Total Access Communications System), German Netz C y D, así como NAMTS (Nipon Advanced Mobile Telephone System). Cabe notar que el sistema predominante de esta generación es AMPS.

Entre las características que envuelve al Sistema Celular de esta generación se encuentran las siguientes:

- En un principio, los móviles analógicos eran muy pesados y voluminosos.
- Debido a lo anterior, tenían que realizar una emisión de gran potencia para realizar una comunicación sin cortes ni interferencias.
- La calidad de los enlaces era muy baja, con una tasa de transmisión de 2400 baudios.

- En cuanto a la transferencia entre celdas, era muy imprecisa ya que contaban con una baja “Capacidad” debido a las características con las que opera la técnica FDMA.
- Al no realizar algún tipo de codificación a las señales a transmitir resultaba sencillo interceptar las conversaciones hechas en un móvil analógico.

1.2.2 *Sistemas digitales*

1.2.2.1 *Segunda Generación (2G)*

La Segunda Generación (2G) arribó hasta 1990 y a diferencia de la primera se caracterizó por ser digital.

El sistema 2G utiliza protocolos de codificación más sofisticados y se emplea en los Sistemas de Telefonía Celular actuales. Las tecnologías predominantes son: GSM (Global System for Mobile Communications); IS-136 (conocido también como TIA/EIA-136 o ANSI-136) el cual representa una evolución del estándar IS-54 misma que utiliza TDMA; CDMA (Code Division Multiple Access) y PDC (Personal Digital Communications), éste último utilizado en Japón.

A diferencia de la Primera Generación un concepto y servicio introducido en cuestión de “Cobertura” fue el “Roaming”, el cual logró la interoperabilidad de las empresas telefónicas. Con ello, los equipos terminales podían identificarse en su red estando conectados con otra red diferente.

Los protocolos empleados en los sistemas 2G soportan velocidades de información más altas para las señales de voz, pero siguen siendo limitados en comunicación de datos. Algunos servicios complementarios que se ofrecen son: datos, fax y el servicio de “paging¹” conocido como SMS (Short Message Service).

Una característica adicional para las Unidades Móviles de la Segunda Generación fue que al realizarse la comunicación y transmisión de datos en forma digital, se logró el objetivo de ofrecer el servicio a un mayor número de usuarios, y al requerirse menos energía y potencia, los teléfonos móviles se vuelven más pequeños y menos voluminosos.

1.2.2.2 *Generación 2.5 (2.5G)*

La Generación 2.5 se considera como una generación intermedia entre la segunda y la tercera. Consolidándose como una tecnología más rápida, y más económica para actualizar a 3G. Muchos de los proveedores de servicios de telecomunicaciones se moverán a las redes 2.5G antes de entrar masivamente a la tercera. Dicha generación incluyó un protocolo similar al usado en Internet, lo que introduce de manera muy generalizada este concepto en el ambiente móvil.

¹**Paging:** Servicio unidireccional o bidireccional de radiolocalización móvil de personas. El usuario recibe y también envía mensajes por esta vía.

La Generación 2.5G ofrece características extendidas, ya que cuenta con más capacidades adicionales que los sistemas 2G, como: GPRS (General Packet Radio System), HSCSD (High Speed Circuit Switched), EDGE (Enhanced Data Rates for Global Evolution), IS-136B e IS-95B entre otros.

1.2.2.2.1 GPRS

GPRS es una tecnología inalámbrica vinculada a paquetes que supone una mejora de velocidad de la red GSM y un incremento de la eficiencia en el uso del ancho de banda, diseñado para una velocidad de conexión hasta de 115 kbps, la cual es doce veces más que la permitida en GSM. Usa la tecnología IP² (Internet Protocol) para acceder directamente a los contenidos de los proveedores de Internet.

1.2.2.2.2 EDGE

EDGE es el paso en la evolución de GSM-GPRS e IS-136. Es una tecnología considerada como una versión rápida del GSM, diseñada para alcanzar velocidades hasta de 384 kbps. Introduce una nueva técnica de modulación y una nueva codificación de canal para usarse indistintamente en la transmisión de servicios de voz y de datos por conmutación de paquetes y de circuitos.

1.2.2.3 Tercera Generación (3G)

La evolución de la Tercera Generación (3G) comenzó en 1980 con la propuesta de requerimientos que deberían de tener estos sistemas por parte de la UIT³ (Unión Internacional de Telecomunicaciones).

En los Sistemas de Tercera Generación, el servicio en cualquier lugar y tiempo representa una parte fundamental de la funcionalidad. A ésta puede añadirse la necesidad de ampliar el área de servicio, unificar diversas tecnologías, integrar Redes Fijas y móviles, entre otros.

El Sistema de Tercera Generación pretende globalizar su esquema y optimizar el desempeño ofrecido comparado con el resto de las generaciones.

Se puede esperar entonces, que la diversidad de servicios que ofrecen los Sistemas de Tercera Generación, represente un desafío para la arquitectura de los sistemas regulados por la UIT.

En la Fig. 1.2 se simplifican los alcances de los Sistemas de Tercera Generación, donde se pueden ver distintos sistemas de telecomunicación operando simultáneamente, desde un ambiente de alta “Capacidad” en picoceldas y servicios de voz, hasta un ambiente de “Cobertura” satelital y servicios multimedia.

²**IP:** Internet Protocol. Protocolo que opera en la Capa 3 del Modelo OSI encargado de proveer el direccionamiento lógico y la segmentación de la información (datagramas) que es enviada a través de la red.

³**UIT.** Unión Internacional de Telecomunicaciones. Es una agencia especializada de las Naciones Unidas en la cual los gobiernos y el sector privado coordinan los servicios y redes mundiales de telecomunicaciones.

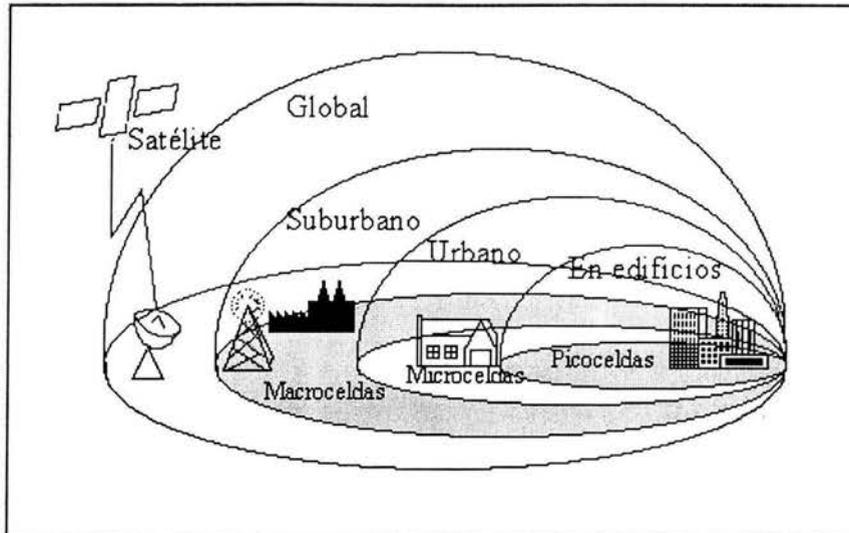


Fig. 1.2 Red Multifuncional de un Sistema de Tercera Generación

La UIT ha progresado en la estandarización de los Sistemas de Tercera Generación, en una primera y segunda fases del IMT-2000. El IMT-2000 es el estándar global para las comunicaciones inalámbricas concernientes a la Tercera Generación, definido por las recomendaciones de la UIT.

El propósito de estas recomendaciones conlleva a incluir servicios complementarios tales como audio, datos, video, multimedia, servicios de búsqueda, ambientes virtuales, voiceo y seguridad, en configuraciones punto a punto, punto a multipunto con terminales fijas o móviles.

En la Tabla 1.3 se listan las principales características de los Sistemas de Tercera Generación y las diferencias con los de Segunda Generación.

<i>Aspectos</i>	<i>Sistemas de Segunda Generación y 2.5G</i>	<i>Sistemas de Tercera Generación</i>
Tecnología digital	Tecnología digital para modulación de voz, codificación de canal e implementación de canales de control y tráfico.	Incremento en el uso de tecnologías digitales incluyendo radios programables.
Operación en distintos ambientes	Están optimizados para operar en algunos ambientes, como vehicular y pedestre en Redes Fijas y móviles.	Búsqueda de operación multiambiente.
Bandas de frecuencia	Banda celular y PCS.	Uso de una banda de frecuencia global para sistemas terrestres y satelitales.
Servicio de datos	Velocidades menores a 384 kbps (EDGE).	Altas velocidades y servicio de datos en conmutación de circuitos o paquetes.
Servicio de búsqueda (Roaming)	Limitado a una región específica.	Búsqueda Global con la disponibilidad de "Cobertura" satelital.
Tipo de Aplicaciones	Disponibilidad de SMS (Short Message Service). Servicios con una baja tasa de datos transmitidos.	Servicios Personalizados (Aplicaciones multimedia y de Internet Móvil). Mejoras en la disponibilidad de MMS (Multimedia Message Service).

Tabla 1.3 Comparación entre Sistemas de Segunda y Tercera Generación

Una mejora considerable de la Tercera Generación con respecto a la Segunda es la tasa de transmisión. Los Sistemas de Tercera Generación deben ser capaces de ofrecer al menos 144 kbps. Según el tipo de servicio requerido que el usuario demande desde su MS se dispondrá la cantidad de tasa de bits manejada. Los tipos de servicios manejados mantienen su clasificación en:

- Servicios genéricos entre los cuales se encuentran: servicios de voz básicos y mejorados, que incluyen aplicaciones como audio conferencias y correo de voz.

- Servicios de tasa de transmisión baja, que soportan correo de mensajes, correo electrónico y facsímil³, entre otros.
- Servicios de tasa de transmisión media, los cuales soportan transferencia de archivos y acceso a Internet, a velocidades del orden de los 64-144 kbps, y servicios altas tasas de bits, que soportan transmisión de datos por conmutación de circuitos o paquetes. Servicios que involucren video conferencia y aplicaciones de cómputo en la red trabajando a velocidades que van de los 64 kbps a los 2 Mbps. Adicionalmente a estos servicios, los Sistemas de Tercera Generación deben de proporcionar servicios multimedia, mediante los cuales se soporten aplicaciones interactivas de voz, datos y video, para distintos requerimientos de calidad de servicio.

Entre otras características que deben de tener los sistemas 3G están las siguientes:

- Transmisión simétrica-asimétrica⁴ de alta fiabilidad.
- Uso de ancho de banda dinámico, en función de la aplicación.
- Velocidades binarias mucho más altas: 144 kbps en alta movilidad, 384 kbps en espacios abiertos y 2 Mbps en baja movilidad.
- Soporte tanto de conmutación de paquetes (IP) como de circuitos.
- Soporte IP para acceso a Internet (navegación WWW) y multimedia.
- Diferentes servicios simultáneos en una sola conexión.
- Calidad de voz como en la Red Fija.
- Soporte radioeléctrico flexible, con utilización más eficaz del espectro, con bandas de frecuencias comunes en todo el mundo.
- Personalización de los servicios, según el perfil del usuario.
- Servicios dependientes de la posición (localización) del usuario.
- Incorporación gradual en coexistencia con los sistemas actuales de 2G y 2.5G.
- “Roaming” internacional entre diferentes operadores y tipos de redes.
- Ambientes de funcionamiento marítimo, terrestre y aeronáutico.
- Terminales capaces de alojar aplicaciones descargadas desde la red, así como el manejo multibanda y multientorno.
- Economías de escala y un estándar global y abierto que cubra las necesidades de un mercado de masas.
- El usuario podrá recibir el mismo servicio independiente de su ubicación geográfica.

La penetración de los Sistemas de Tercera Generación es necesaria debido a la incursión de servicios personalizados en donde el Internet Móvil y la Multimedia sean factores para el aumento significativo de tráfico en donde el proveedor salga beneficiado y por otro lado el usuario pueda tener acceso a la información en cualquier punto. Por otra parte, con la optimización realizada hacia las técnicas de acceso múltiple, se podrán darle más cabida a un número mayor de usuarios ofreciendo una calidad de servicio aceptable.

³*Facsímil*: Transmisión electrónica de documentos impresos a través de una red de telecomunicaciones.

⁴*Transmisión simétrica-asimétrica*: Se refiere a la transmisión en cantidad de paquetes de datos trasladados desde el MS o dirigidos a éste. Si la transmisión es simétrica entonces la cantidad de datos transmitidos desde el usuario y los que van dirigidos hacia éste es la misma. Caso contrario reside en una transmisión asimétrica en donde la cantidad no es la misma. Servicios como el e-mail y la navegación por la WWW son predominantemente de transmisión asimétrica, mientras que los servicios de videoconferencia corresponden a una transmisión simétrica.

Además, el incremento de tráfico producido por el sistema móvil sustituirá en gran medida al tráfico fijo conforme el costo de las llamadas se reduzcan gradualmente necesitándose más espectro a medida que aparezcan nuevas necesidades y servicios.

1.3 Espectro Radioeléctrico

Para definir el espectro Radioeléctrico se definirá el Espectro Electromagnético, que es un concepto más globalizado.

El Espectro Electromagnético es la gama de frecuencias abarcada por todos los fenómenos relacionados con la radiación electromagnética al ordenarlos de acuerdo a su frecuencia o longitud de onda.

Así pues, el Espectro Radioeléctrico, también denominado como Espectro de Radiofrecuencia es aquel que engloba la gama de frecuencias del Espectro Electromagnético que corresponde a la radiación emitida al espacio mediante antenas de los sistemas de radiocomunicaciones.

La UIT hace una clasificación del Espectro Radioeléctrico en nueve bandas, enumerando dichas bandas del 4 hasta el 12, como se muestra en la Tabla 1.4 que aparece a continuación:

<i>Banda N (Número)</i>	<i>Designación</i>	<i>Margen de Frecuencias $0.3 \times 10^N \text{ Hz}$ a $3 \times 10^N \text{ Hz}$</i>	<i>Margen de Longitudes de Onda λ</i>	<i>Subdivisión Métrica Designación Métrica para las Bandas</i>
4	VLF	3 kHz a 30 kHz	100000 m a 10000 m	Ondas miriamétricas
5	LF	30 kHz a 300 kHz	10 000 m a 1000 m	Ondas kilométricas
6	MF	300 kHz a 3 MHz	1000 m a 100 m	Ondas hectométricas
7	HF	3 MHz a 30 MHz	100 m a 10 m	Ondas decamétricas
8	VHF	30 MHz a 300 MHz	10 m a 1 m	Ondas métricas
9	UHF	300 MHz a 3 GHz	100 cm a 10 cm	Ondas decimétricas
10	SHF	3 GHz a 30 GHz	10 cm a 1 cm	Ondas centimétricas
11	EHF	30 GHz a 300 GHz	10 mm a 1 mm	Ondas milimétricas
12	----	300 GHz a 3000 GHz	1 mm a 0.1 mm	Ondas decimilimétricas

Tabla 1.4 División del Espectro Radioeléctrico

* Nota: La frecuencia inferior se incluye en la banda mientras que la superior se excluye.

1.3.1 Banda celular

Los sistemas celulares trabajan en la banda de los 800 MHz, específicamente de los 825 MHz a los 845 MHz y de los 870 MHz a los 890 MHz de acuerdo con la norma NOM-081-SCT1-1993 de la SCT (Secretaría de Comunicaciones y Transportes) que rige en nuestro país.

En las siguientes figuras (Véase Fig. 1.5 y Fig. 1.6) se observa la distribución de las frecuencias de las Bandas A y B para su uso en el servicio de Telefonía Celular. Cada una de las bandas dispone de 333 canales para diversos usuarios, en donde el ancho de banda de canal telefónico es de 30 kHz.

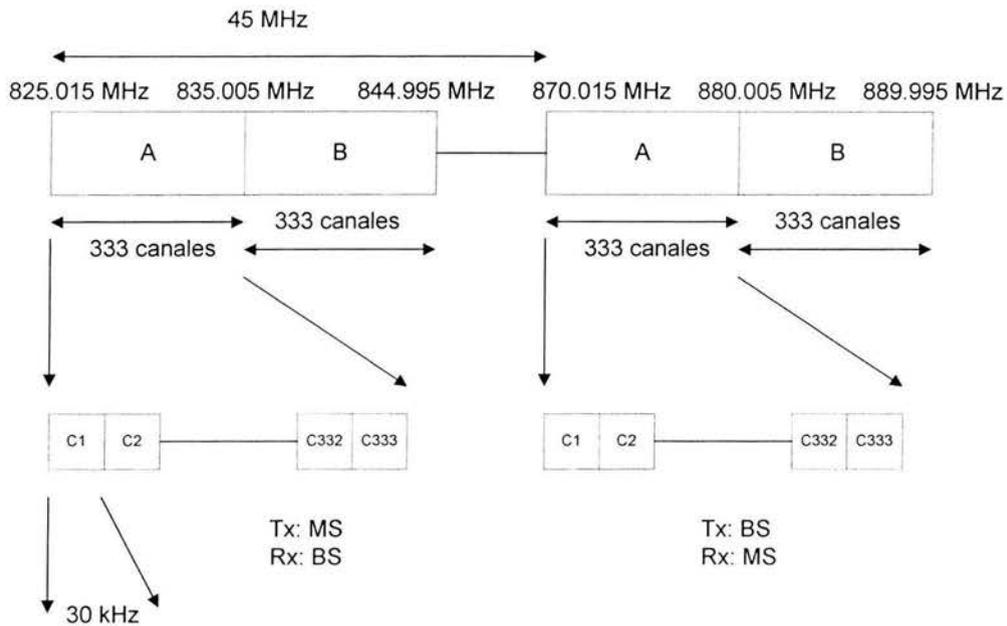


Fig. 1.5 Distribución de frecuencias en la Banda A

La Banda Celular A comienza a partir de los 825.015 MHz para el canal 1, el cual se transmite del MS a la RBS, mientras que la transmisión inversa se efectúa en forma simultánea a partir de los 870.015 MHz, es decir a una separación de 45 MHz. Tal como se ilustra en la Fig. 1.4, el canal 333 de esta Banda termina a los 835.005 MHz, tras la consideración del ancho de banda de cada canal y el número de canales involucrados.

Por otro lado, en la Fig. 1.6, podemos observar que la Banda Celular B comienza en los 835.005 MHz, esta frecuencia corresponde al límite inferior del canal 334, es decir, al canal 1 de la Banda B. Haciendo analogía con respecto a la Banda A, esta frecuencia corresponde al primer canal de transmisión de la Banda B, donde el transmisor lo desempeña el MS y el receptor la RBS, mientras que el primer canal de transmisión de la Estación Base corresponde a 880.005 MHz, también a una separación de 45 MHz. Por lo que el último canal de esta Banda, el 666, termina a los 889.995 MHz.

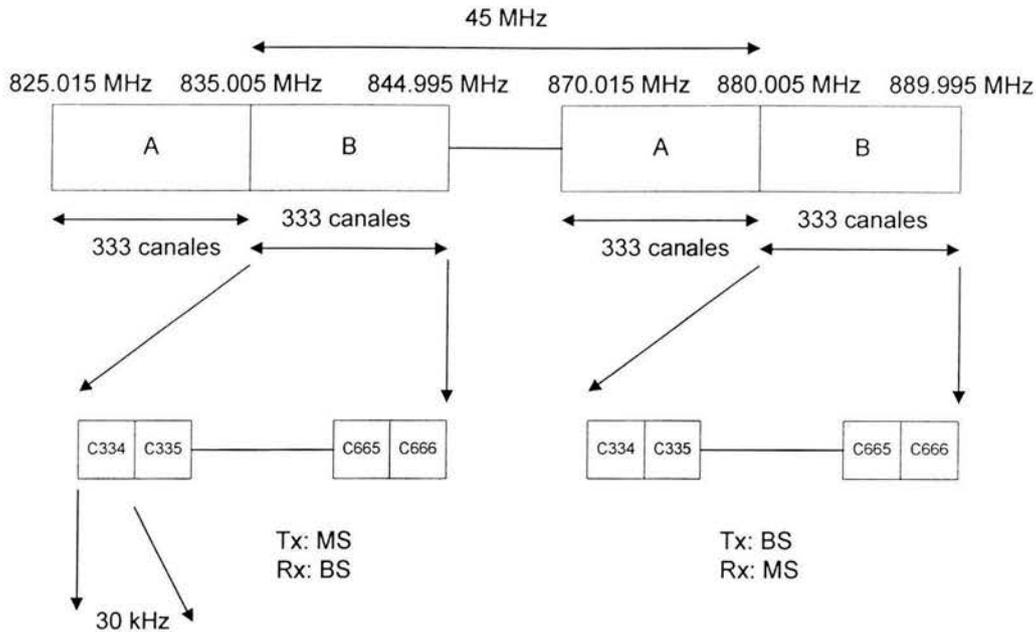


Fig. 1.6 Distribución de frecuencias en la Banda B

Es importante mencionar, que en cualquiera de las Bandas, en cada región pueden existir cualquier cantidad de células, usando cada una de ellas un determinado conjunto de estos 333 canales (o conversaciones simultáneas). El uso de éstos estará restringido hasta el punto en el cual no sean utilizados los mismos canales en células adyacentes. Estos canales funcionan como acceso a la red para los usuarios, por medio de equipos terminales consistentes en una unidad de control, un radio receptor, un radio transmisor y su antena.

Cabe aclarar que el organismo FCC (Federal Communications Commission) fue el encargado de asignar 166 canales más a los 666 canales disponibles para las Bandas A y B, originando de esta manera la Banda A (extendido) y Banda B (extendido).

1.3.2 Banda PCS

A PCS (Personal Communications Service) se le define como el servicio destinado a la telefonía digital inalámbrica que opera en la banda cercana a los 2 GHz, específicamente en la banda de frecuencias de 1850 MHz y 1900 MHz.

PCS surgió como una alternativa de entrada para la industria inalámbrica de las telecomunicaciones ofreciendo un servicio distinto al proporcionado por las redes de la Telefonía Celular analógica.

A diferencia de los sistemas que operaban en la Banda Celular, los cuales habían sido analógicos por una década, PCS se definió como un servicio meramente digital. Antes del lanzamiento de PCS en el año de 1996, el único servicio inalámbrico celular disponible eran Unidades Móviles que utilizaban transmisión analógica en donde cada célula podría

dar cabida a un número limitado de usuarios. Sin embargo, con el desarrollo de la transmisión digital se incrementó el número de usuarios para cada RBS y se le dio una mejora en la calidad de transmisión de la voz.

Como valores agregados, el servicio PCS proporciona información de identificación de llamadas, llamadas en espera, bloqueo de llamadas, multiconferencia, “paging” y correo de voz.

Entre otras características del PCS se encuentra la posibilidad de recurrir al “Soft Handoff”, el cual es el proceso que permite la transferencia suave o transparente entre celdas reduciendo el número de llamadas caídas. Debido al proceso de monitoreo se mejoraron las técnicas de seguridad con lo que se combatió la clonación y la interceptación de llamadas, fenómeno que regularmente ocurría en los sistemas 1G o sistemas analógicos.

El alojamiento en la banda de frecuencias que opera PCS es distinto al que le corresponde a los sistemas celulares. Como se ha mencionado anteriormente el Sistema Celular opera en una banda baja de frecuencias en comparación con el servicio PCS. La Banda Celular reside alrededor de los 800 MHz, mientras que PCS hace las operaciones de recepción y transmisión de información en la banda cercana a los 1900 MHz.

A continuación se muestra la distribución de la Banda de Frecuencias del Espectro Radioeléctrico para la prestación de servicios PCS en México.

<i>No.</i>	<i>Servicio</i>	<i>Banda</i>	<i>Enlace de Subida (Uplink) [MHz]</i>	<i>Enlace de Bajada (Downlink) [MHz]</i>	<i>Ancho de Banda Total</i>	<i>Cobertura</i>
1	PCS	A1	1850-1865	1930-1945	30 MHz.	Región 1
2	PCS	A2	1850-1865	1930-1945	30 MHz.	Región 2
3	PCS	A3	1850-1865	1930-1945	30 MHz.	Región 3
4	PCS	A4	1850-1865	1930-1945	30 MHz.	Región 4
5	PCS	A5	1850-1865	1930-1945	30 MHz.	Región 5
6	PCS	A6	1850-1865	1930-1945	30 MHz.	Región 6
7	PCS	A7	1850-1865	1930-1945	30 MHz.	Región 7
8	PCS	A8	1850-1865	1930-1945	30 MHz.	Región 8
9	PCS	A9	1850-1865	1930-1945	30 MHz.	Región 9
10	PCS	B1	1870-1885	1950-1965	30 MHz.	Región 1
11	PCS	B2	1870-1885	1950-1965	30 MHz.	Región 2
12	PCS	B3	1870-1885	1950-1965	30 MHz.	Región 3
13	PCS	B4	1870-1885	1950-1965	30 MHz.	Región 4
14	PCS	B5	1870-1885	1950-1965	30 MHz.	Región 5
15	PCS	B6	1870-1885	1950-1965	30 MHz.	Región 6
16	PCS	B7	1870-1885	1950-1965	30 MHz.	Región 7
17	PCS	B8	1870-1885	1950-1965	30 MHz.	Región 8
18	PCS	B9	1870-1885	1950-1965	30 MHz.	Región 9

No.	Servicio	Banda	Enlace de Subida (Uplink) [MHz]	Enlace de Bajada (Downlink) [MHz]	Ancho de Banda Total	Cobertura
19	PCS	D1	1865-1870	1945-1950	10 MHz.	Región 1
20	PCS	D2	1865-1870	1945-1950	10 MHz.	Región 2
21	PCS	D3	1865-1870	1945-1950	10 MHz.	Región 3
22	PCS	D4	1865-1870	1945-1950	10 MHz.	Región 4
23	PCS	D5	1865-1870	1945-1950	10 MHz.	Región 5
24	PCS	D6	1865-1870	1945-1950	10 MHz.	Región 6
25	PCS	D7	1865-1870	1945-1950	10 MHz.	Región 7
26	PCS	D8	1865-1870	1945-1950	10 MHz.	Región 8
27	PCS	D9	1865-1870	1945-1950	10 MHz.	Región 9
28	PCS	E1	1885-1990	1965-1970	10 MHz.	Región 1
29	PCS	E2	1885-1990	1965-1970	10 MHz.	Región 2
30	PCS	E3	1885-1990	1965-1970	10 MHz.	Región 3
31	PCS	E4	1885-1990	1965-1970	10 MHz.	Región 4
32	PCS	E5	1885-1990	1965-1970	10 MHz.	Región 5
33	PCS	E6	1885-1990	1965-1970	10 MHz.	Región 6
34	PCS	E7	1885-1990	1965-1970	10 MHz.	Región 7
35	PCS	E8	1885-1990	1965-1970	10 MHz.	Región 8
36	PCS	E9	1885-1990	1965-1970	10 MHz.	Región 9

Tabla 1.7 Banda de frecuencias para servicio PCS en México

1.4 Tecnologías para sistemas analógicos y/o digitales

El propósito que tiene una Red Celular es brindar un servicio en donde los usuarios móviles puedan comunicarse con los usuarios de la Red Telefónica Pública Conmutada, y viceversa, y que además también se pueda establecer una conexión entre los mismos usuarios móviles. En todos los casos el servicio cae dentro de un sistema “full-dúplex”.

A un proveedor de servicio celular le es asignado una porción del Espectro Radioeléctrico para su uso. Idealmente, para un servicio “full-dúplex” (modo de transmisión en donde la comunicación es bidireccional en forma simultánea), tal porción es dividida en dos segmentos, donde uno de ellos es asignado para la transmisión de la RBS hacia el MS y el otro para la dirección inversa, es decir, del MS hacia la RBS. Para proporcionar el servicio y la transmisión de información entre estos elementos debemos de seleccionar un método de acceso que lo permita.

Existen tres métodos de acceso, los cuales son: FDMA, TDMA y CDMA. Dichos métodos pueden combinarse para generar tecnologías híbridas tales como (FD/TDMA) o (FD/CDMA). Como ejemplo, el estándar IS-95 utiliza FD/CDMA, mientras que IS-54 utiliza el método FD/TDMA.

A continuación se dará una explicación de los métodos de acceso mencionados enfatizando sus características y sus esquemas de funcionamiento.

1.4.1 Sistemas analógicos

1.4.1.1 FDMA

Los primeros sistemas celulares clasificados dentro de la Primera Generación emplearon la Técnica de Acceso Múltiple FDMA (Frequency Division Multiple Access). Esta técnica consiste en la asignación de bandas de frecuencias (denominados canales virtuales) hacia cada uno de los usuarios que realiza una conexión. En términos prácticos FDMA consiste en dividir un canal de un ancho de banda específico en varios canales virtuales de menor ancho de banda.

El usuario tiene asignada esta banda de frecuencias hasta el momento en el cual decide terminar con la llamada. La poca eficiencia en la utilización del espectro impedía el crecimiento de usuarios hacia la utilización del sistema lo que repercutió en el bloqueo de los canales.

Por otro lado, cuantas más frecuencias se disponen, se cuentan con un número mayor de usuarios y esto significa que debe pasar más señalización por el canal de control, por lo que los sistemas FDMA frecuentemente tienen más de un canal de control para el manejo de todas las tareas de control de acceso.

En resumen, podemos decir que si esquematizamos a FDMA en un plano de frecuencia-tiempo, éste es dividido en M canales de frecuencia contiguos y situados a lo largo del eje de la frecuencia, tal como se muestra en la Fig. 1.8. Durante un instante de tiempo, un usuario transmite una señal de energía en uno de los canales de frecuencia con un ciclo de trabajo del 100%.

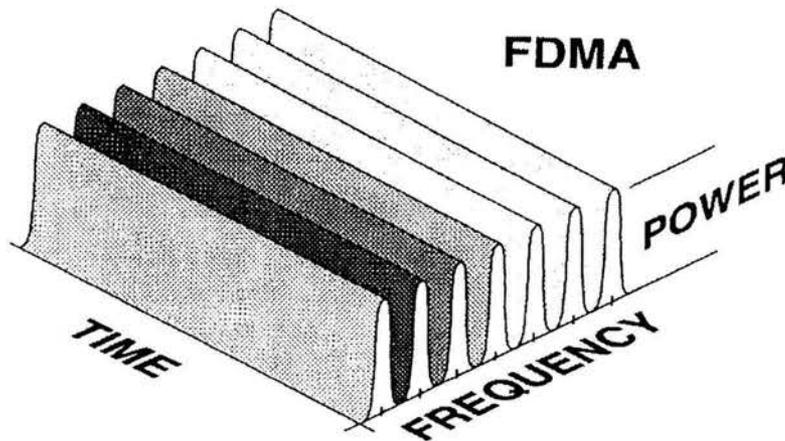


Fig. 1.8 Técnica de Acceso Múltiple FDMA

Como se había mencionado anteriormente, existen diversos sistemas analógicos basados en este tipo de Técnica de Acceso. Entre ellos se encuentran: AMPS, NMT y TACS, en donde el sistema dominante fue el primero. Los sistemas analógicos tienen como su única base a FDMA, sin embargo ésta encuentra también su aplicación en la Telefonía Celular digital.

1.4.1.1 AMPS (*Advanced Mobile Phone System*)

Las frecuencias destinadas para el uso del sistema AMPS se localizan en la banda de los 824 a los 849 MHz para los canales de transmisión del MS a la RBS así como la banda que se extiende de los 869 MHz a los 894 MHz para los canales de transmisión de la RBS al MS. Existen un total de 416 canales disponibles para cada dirección (Forward y Reverse), enumerados del 1 al 1024, considerando espacios en dicha enumeración.

A continuación figuran los Tipos de Banda y el rango de frecuencias que le corresponden a cada uno. (Véase Tabla 1.9).

<i>Tipo de Banda</i>	<i>Tx: Estación Móvil Rx: Estación Base (Reverse/Uplink)</i>	<i>Tx: Estación Base Rx: Estación Móvil (Forward/Downlink)</i>
A (inicial)	824-834 MHz	869-879 MHz
A (extendido)	844-846.5 MHz	889-891.5 MHz
B (inicial)	834-844 MHz	879-889 MHz
B (extendido)	846.5-849 MHz	891.5-894 MHz

Tabla 1.9 Alojamiento de frecuencias para Bandas A, B, A extendido y B extendido.

Cada Canal Físico dispone de un ancho de 30 kHz y dicho canal es ocupado mientras se realiza la llamada de la estación móvil mientras éste se encuentre en la célula correspondiente. Cada llamada usa un “Enlace de Subida” (Forward Channel) con su respectivo “Enlace de Regreso” (Reverse Channel), el par de canales tendrá la función de permitir la comunicación que se de entre MS-RBS y viceversa.

La separación entre el Forward Channel y el Reverse Channel es de 45 MHz. Algunos de los canales pares (21 de ellos) son usados para propósitos de control en el sistema AMPS. En los canales de tráfico es utilizada la técnica de modulación FM con una desviación de 8 kHz para la transmisión de las señales de voz. Por otro lado la técnica de modulación FSK⁵ a una tasa de 10 kbps es utilizada para los canales de control para propósitos de señalización.

Debido a que el funcionamiento del sistema AMPS se basa en el de un sistema FM, provee degradaciones en la calidad de la señal de voz, tal como ruido e interferencia. Asimismo, como se mencionó anteriormente, se califica de ser un sistema en donde la privacidad del usuario puede verse alterada ya que la información puede ser interceptada.

⁵ **FSK:** *Frequency Shift Keying.* Es una variante de modulación MSK la cual recurre a la utilización de dos frecuencias. Los cambios de frecuencias son debidas a los niveles binarios de la señal. De esta manera una determinada frecuencia es usada para representar al estado alto, mientras que una segunda representa al estado bajo. En la transmisión “full-dúplex” dos diferentes frecuencias son utilizadas en cada dirección (Forward y Reverse), obteniéndose como resultado cuatro frecuencias de uso.

1.4.2 Sistemas digitales

1.4.2.1 TDMA

TDMA es una Técnica de Acceso Múltiple que consiste en asignar ciertas ranuras de tiempo (time slots) de una banda de frecuencias hacia varios usuarios. Por lo tanto, a cada usuario le es permitido transmitir en predeterminados “time slots”.

En un sistema TDMA, un plano de tiempo-frecuencia es dividido en M ranuras de tiempo contiguas a lo largo del eje del tiempo. Durante un instante de tiempo, un usuario transmite una señal de energía en una de estas ranuras de tiempo con un ciclo de trabajo bajo. La explicación de lo anteriormente mencionado se sintetiza en el siguiente esquema:

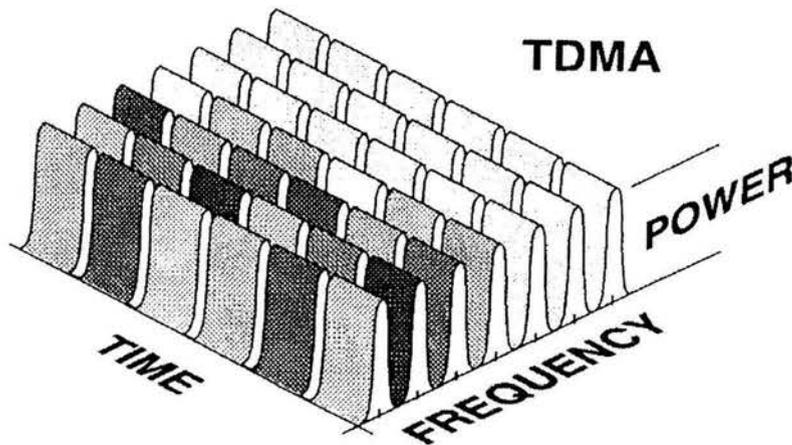


Fig. 1.10 Técnica de Acceso Múltiple TDMA

La Fig. 1.10 es una combinación de técnicas FDMA y TDMA. Se utiliza la primera para dividir todo el canal en bandas virtuales y cada banda se multiplexa utilizando TDMA.

Una variante de TDMA es GSM, el cual tiene la “Capacidad” de atender a ocho usuarios simultáneamente, en contraste con el estándar IS-136 TDMA el cual puede atender a tres. El esquema TDMA sólo puede ser utilizado en la Telefonía Celular digital, además de implementar mecanismos de sincronización con los que se permita garantizar que durante el enlace móvil-base, el móvil transmita en la ranura de tiempo que le corresponda y no interfiera con otros “time slots” que quizá estén utilizando otros equipos terminales. Asimismo esto ayuda a que solamente se esté procesando la información que va dirigida hacia el móvil.

1.4.2.1.1 GSM

GSM utiliza una variación de acceso múltiple por división de tiempo (TDMA) y es la más utilizada de las tres tecnologías actuales dentro de la telefonía inalámbrica (TDMA, GSM y CDMA).

En un principio trabajaba en la banda de 900 MHz con una combinación de FDMA y TDMA para obtener los requeridos 124 pares de portadoras radio de 200 kHz, cada una de las cuales puede manejar 8 canales por medio de TDMA con 8 ranuras de tiempo. Es decir, aunque una portadora de servicio a 8 canales, en un instante dado, sólo uno de esos canales está utilizando el ancho de banda disponible. Para prevenir interferencias, las RBS adyacentes usan diferentes frecuencias. La modulación utilizada es GMSK⁶ (Gaussian Minimum Shift Keying) a una velocidad de 270 kbps. La voz es muestreada, cuantificada y codificada a una velocidad básica de 13 kbps que se incrementa a 22.8 kbps cuando se añade la corrección de errores (FEC⁷). La información adicional de sincronización y los periodos de guarda entre los “time slots” aumenta la velocidad binaria a 33.9 kbps.

Actualmente GSM opera en las bandas de 900 MHz, 1800 MHz y 1900 MHz, debido a ello, la red GSM se divide de la siguiente manera:

- **GSM 900**

También denominada simplemente GSM, ésta es la red digital más adoptada. Utiliza la frecuencia de 900 MHz. Actualmente, debido a su saturación, los operadores la utilizan juntamente con la red GSM 1800 para poder aumentar la “Capacidad” de utilización. Para hacer uso de la red GSM 1800 es necesario disponer de una Unidad Móvil “Dual Band” que conmute automáticamente entre el GSM 900 y el GSM 1800. La red GSM 900 tiene mayor alcance pero tiene menos “Capacidad” de penetración, por ello, es ideal para ser utilizada en espacios abiertos y menos indicada en las ciudades o en zonas verticalmente urbanizadas.

- **GSM 1800**

También conocido como DCS 1800 o PCN, éste es utilizado en Europa y Asia-Pacífico. Como se ha mencionado anteriormente, la banda de frecuencias de esta red sirve de alternativa a la ya sobrecargada GSM 900, pudiendo estar disponible simultáneamente con ésta. El rango de frecuencias asignadas son de 1805 a 1880 MHz para la transmisión de la Estación Base a la Unidad Móvil y de 1710 a 1785 MHz para la transmisión de la Unidad Móvil a la Estación Base, generalmente. La red DCS 1800 opera en células más pequeñas que en GSM y por lo tanto la complejidad del sistema de ecualización puede ser decrementado. Asimismo se puede obtener un ahorro en la energía de las baterías de los Equipos Terminales.

⁶**GMSK:** *Gaussian Minimum Shift Keying. Es un método de modulación digital derivado de la modulación por desplazamiento de fase y que se utiliza en el sistema GSM de telefonía celular.*

⁷**FEC:** *Forward Error Correction. Técnica de corrección de errores.*

- **GSM 1900**

Red a la cual se le denomina también como PCS 1900.

Es una red digital utilizada en algunas partes de Estados Unidos, Canadá y principalmente en Europa la cual utiliza la frecuencia de radio de 1900 MHz.

El estándar GSM se considera uno de los más importantes del mundo debido a la madurez que representa como sistema para la Telefonía Celular. Cubre todo el occidente de Europa y debido a la extensión que ha tenido la infraestructura de su red, ha permitido que los usuarios que se encuentren desplazando a través de cualquier punto dentro de la comunidad europea puedan hacerlo sin perder el servicio.

1.5 CDMA como Técnica de Acceso digital

CDMA (Code Division Multiple Access) es una Técnica de Acceso Múltiple en la cual los usuarios ocupan el mismo tiempo y la misma banda de frecuencias pero caracterizados por códigos únicos y diferentes entre ellos.

En CDMA la señal es continuamente distribuida a lo largo del plano tiempo-frecuencia. En este esquema dicho plano no es dividido de acuerdo al número de usuarios que se tengan (como en el caso de FDMA y TDMA) sino que cada usuario emplea una señal codificada de banda ancha, la cual es única para cada usuario, tal como se muestra en la Fig. 1.11.

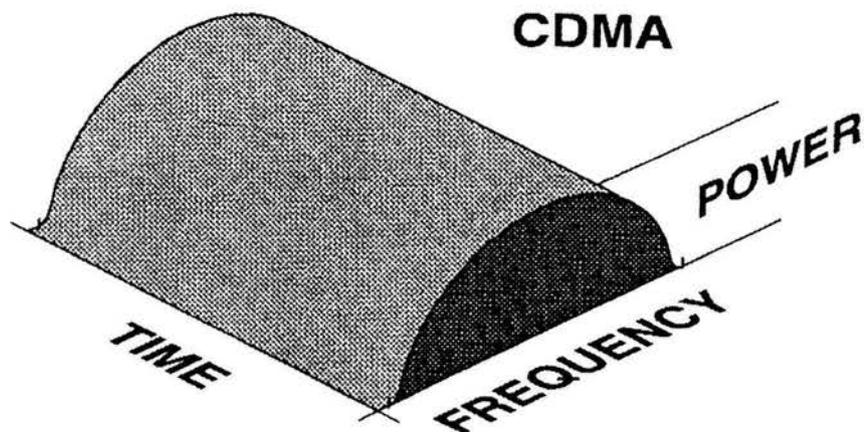


Fig. 1.11 Técnica de Acceso Múltiple CDMA

Por otra parte, CDMA es un término genérico que define una interfaz de aire inalámbrica basada en las técnicas de espectro extendido (Spread Spectrum⁸). El primer estándar para Telefonía Celular CDMA fue llamado IS-95, o también conocido como cdmaOne[®].

Los sistemas IS-95 dividen el espectro en portadoras de 1.25 MHz. Cada dispositivo que utiliza CDMA está programado con un pseudocódigo, el cual se usa para extender una señal de baja potencia sobre un amplio espectro de frecuencias. La Estación Base utiliza

⁸**Spread Spectrum:** Tecnología de comunicaciones donde una señal es transmitida sobre una ancha banda de frecuencias, misma que es reconstruida en el receptor.

el mismo código en forma invertida con el fin de decodificar y reconstruir la señal original. Los otros códigos provenientes de los otros usuarios permanecen extendidos, distinguibles del ruido de fondo.

Actualmente existen muchas variantes de esta Técnica de Acceso, sin embargo, el estándar que dio apertura a esta Técnica de Acceso se le conoce como cdmaOne[®] bajo una marca registrada de QUALCOMM[®] ⁹. A CDMA se le caracteriza por su alta “Capacidad” y celdas de radio pequeño, que emplea espectro extendido y un esquema de codificación especial.

Entre algunas características de esta Técnica de Acceso Múltiple que le proporcionan ventajas sobre las anteriores se encuentran las siguientes:

- Información paquetizada.

Las redes basadas en CDMA están construidas con protocolos basados en IP. En otro tipo de redes se necesita añadir equipo que soporte paquetes de datos y requerimientos específicos en el Equipo Terminal. El estándar cdmaOne[®] ya incorpora en sus terminales los protocolos TCP/IP (Protocolo de Control de Transmisión/Protocolo de Internet) y PPP¹⁰ (Protocolo Punto a Punto).

- Seguridad y privacidad.

La técnica de espectro extendido se utiliza en gran medida en aplicaciones militares, donde la seguridad de las conversaciones y protección de los datos son cuestiones importantes. Diseñado con alrededor de 4.4 trillones de códigos, CDMA elimina virtualmente la clonación de dispositivos con lo que es difícil la captura y el descifrado de una señal.

- Control del nivel de potencia.

El control de la potencia es otro beneficio de los sistemas de CDMA. Empleando técnicas de procesamiento de señales, corrección de errores, entre otros, CDMA supera el problema de la potencia con una serie de ciclos de retroalimentación. Con un control automático de la ganancia en las terminales y una supervisión constante del nivel de señal a ruido y tasas de error en la RBS, los picos en el nivel de potencia son regulados con un complejo de circuitos electrónicos que ajustan la potencia a una razón de 800 veces en un segundo. Esto repercute en el ajuste dinámico del tamaño de las celdas. A partir de esto último, considérese una celda congestionada, la potencia de las terminales se elevaría creando una interferencia mutua. En el margen, las transmisiones de alta potencia inundarían las celdas vecinas donde éstas podrían ser tomadas por la RBS adyacente. En una celda de poca densidad, la potencia es tan baja que la celda se reduce efectivamente, transmitiendo sin interferencia hacia las celdas vecinas y mejorando el desempeño de las mismas. Este tipo de ajuste dinámico en el tamaño de las celdas es imposible en TDMA, pues en esta las celdas adyacentes utilizan diferentes frecuencias. Se ha comprobado en diversos estudios que CDMA es más eficiente en términos de potencia que TDMA.

⁹QUALCOMM: Compañía desarrolladora de estándares basadas en la Técnica de Acceso CDMA.

¹⁰PPP: Point to Point Protocol. Es un protocolo de comunicaciones el cual conecta las unidades terminales al Internet a través de una conexión dial-up y de líneas dedicadas hacia el ISP.

- Al hecho anterior se le añade el bajo consumo de potencia y por lo tanto prolongación en la duración de las baterías en los MS.

Debido al sistema de retroalimentación de CDMA que mantiene la potencia al nivel más bajo permisible, las terminales consumen menos potencia y son más pequeñas. En este punto CDMA es más ventajoso que TDMA.

- Proporción de más “Cobertura” con menos infraestructura de las RBS.

La señal de espectro extendido de CDMA provee gran “Cobertura” en la Red Celular, por lo que permite a los proveedores la instalación de menos celdas para cubrir una región mayor. Esto se traduce en el ahorro de los “Carriers” hacia la adquisición de infraestructura adicional (RBS).

- Reducción del número de llamadas caídas

La transferencia de celdas (Handoff) de CDMA, o en otras palabras, el método para transferir llamadas entre celdas, reduce el riesgo de interrumpirlas durante una transferencia. El proceso conocido como transferencia suave o transparente (Soft Handoff) entre celdas conduce a reducir la terminación de llamadas inesperadamente, ya que dos o tres celdas siempre monitorean la llamada. La transferencia entre celdas es transparente a los usuarios debido a que éstos están utilizando el mismo ancho de banda, es más fácil moverse de una celda a otra sin que el suscriptor lo advierta.

- Ancho de banda en demanda

El canal de 1.25 MHz de CDMA provee un recurso común a las terminales en un sistema de acuerdo con sus propias necesidades, como voz, fax, datos u otras aplicaciones. En un tiempo dado, la porción de este ancho de banda que no utilice una terminal estará disponible para otro usuario. Debido al esquema de funcionamiento de CDMA, éste provee flexibilidad en el ancho de banda para permitir servicios en demanda. En contraste, TDMA dispone de canales fijos y reducidos en ancho de banda por lo que es imposible satisfacer la demanda. Concluyendo CDMA se le considera de tres a seis veces más eficiente en este aspecto que TDMA.

1.5.1 CDMA2000

CDMA2000 es una familia de tecnologías que incluye a los estándares de CDMA2000 1x y CDMA2000 1xEV.

Éste último tiene su división en las siguientes categorías:

CDMA2000 1xEV-DO: Tecnología que proporciona tasas de transmisión de 2.4 Mbps y con “Capacidad” de soportar aplicaciones como transferencias de MP3 y video-conferencia.

CDMA2000 1xEV-DV: Tecnología que integra una mayor “Capacidad” sobre voz y simultáneamente el manejo de altas tasas de transmisión de paquetes (Servicios Multimedia) alrededor de los 3.09 Mbps.

Estas dos últimas tecnologías son compatibles con CDMA2000 1x y con cdmaOne®.

1.5.1.1 CDMA2000 1x

CDMA2000 1x es un estándar definido como IS-2000 en donde el término 1X se deriva de 1XRTT (Radio Transmisión Technology) y tiene como significado que utiliza el mismo ancho de la portadora que cdmaOne® (1.25 MHz), esto es que: $1 \times 1.25 \text{ MHz} = 1.25 \text{ MHz}$.

Este estándar puede ser implementado sobre el espectro existente o sobre nuevos alojamientos en otras bandas de frecuencias.

Las ventajas que ofrece CDMA2000 1x sobre su antecesor son:

- Proporciona doble “Capacidad” para voz que cdmaOne®, gracias a las mejoras en el control de la potencia, técnicas de modulación y codificación.
- Provee tasas de transmisión promedio de 144 kbps.
- Provee compatibilidad en la infraestructura de la red, igual que con los MS de cdmaOne®.

La razón de implementar CDMA2000 1x como un hecho de actualización sobre la red de cdmaOne® radica en que es más fácil administrar y controlar una red sobre una determinada área en vez de tener dos redes operando sobre la misma región.

Asimismo una portadora CDMA2000 1x, con “Capacidad” de soportar el servicio para MS de cdmaOne®, provee una “Capacidad” mayor en comparación con una portadora de cdmaOne®.

El operador de esta manera, deberá de considerar la migración hacia la tecnología de CDMA2000 1x en aquellas zonas donde se requieran transmitir datos a tasas elevadas (por ejemplo en zonas urbanas).

1.5.1.2 CDMA2000 1xEV

Aunque la presente tesis esté enfocada a la infraestructura de CDMA2000 1x se mencionarán algunas de las características de CDMA2000 1xEV la cual representa la evolución de la primera, en cuanto a optimización a “Capacidad” de voz y tasas más altas en transmisión de información. Todas estas tecnologías constituyen la primera fase para 3G, que posteriormente evolucionarán en la segunda fase, conocida como CDMA2000 3x.

CDMA2000 1xEV-DO (1xEV Data Only) es el primer paso para la implementación de la tecnología 1xEV, estandarizado como IS-856. La mejora que implementa en comparación con CDMA2000 1x, es en optimizar la tasa de transmisión de paquetes (DO), operando en el modo 1x o en diferentes portadoras con funcionalidad de interoperación entre ambas redes. Por lo tanto el modo DO es optimizado para una mejor “Capacidad” en los servicios de datos.

CDMA2000 1xEV-DV (1xEV Data and Voice) es el segundo paso en la implementación de 1xEV en donde se optimizan tanto los servicios de voz como de datos dentro del manejo de una sola portadora, ofreciéndolos en tiempo real e incluyendo capacidades tales como Voz sobre IP (VoIP¹¹).

Como manera de resumen, se condensan algunas de las características de cdmaOne[®], CDMA2000 1x y de CDMA2000 1xEV en la Tabla 1.12.

	<i>cdmaOne</i> [®]	<i>CDMA2000 1x</i>	<i>CDMA2000 1xEV-DO</i>	<i>CDMA2000 1xEV-DV</i>
Estándar	TIA/EIA-95A	IS-2000	IS-856	TBD*
Tasa de datos pico	14.4 kbps	153.6 kbps	2.4 Mbps en Forward Link 144 kbps en Reverse Link	3.09 Mbps
Throughput (Cantidad de datos transmitidos promedio)	-	144 kbps	600 kbps	1 Mbps
Soporte	Voz y datos	Voz y datos	Solamente datos, caso de voz se utiliza una portadora 1x	Voz y datos

Tabla 1.12 Características de *cdmaOne*[®] y *CDMA2000*

*Nota: TBD (To Be Decided). Parámetro a ser decidido.

Capítulo 2

Entidades de Red en CDMA2000 e interoperabilidad

2.1 *Arquitectura de un Sistema Inalámbrico para Telefonía Celular*

Un sistema inalámbrico, ya sea destinado para el servicio en la Banda Celular (800 MHz) o para el servicio PCS debe de ser capaz de poder mantener la comunicación entre el MS y poder interactuar con la PSTN. Esto incluye que mientras se vaya cambiando de localidad el MS, el sistema sea capaz de mantener con éxito la conexión entre el MS y el PSTN.

Un sistema inalámbrico de Telefonía Celular debe de disponer de componentes lógicos los cuales pueden ser “Entidades Físicas” o componentes que pueden ser físicamente localizados con otra entidad lógica. Es necesario que estas entidades funcionales interactúen entre ellas con el fin de brindar una operación coordinada.

Tal interacción se logra mediante la señalización sobre las interfaces que mantienen comunicadas a las entidades en cuestión. Si dos entidades funcionales están físicamente separadas y la interfaz que las comunica se encuentra estandarizada, entonces el proveedor de servicios puede adquirir los componentes de la Red Celular de diferentes empresas fabricantes.

2.2 *Modelos de Referencia TR-45 y TR-46*

Los modelos de referencia TR-45 y TR-46 se utilizan generalmente para realizar una descripción de las interfaces que se manejan en la Red Celular. La diferencia de uno y otro aplica en que uno se destina para aquellas redes cuyos servicios caen dentro de la Banda Celular (TR-45) y el otro destina sus servicios para la Banda PCS (TR-46). Las diferencias entre ambos son mínimas y residen sobre los nombres de los elementos que componen a la red.

2.2.1 *Elementos del Modelo de Referencia TR-45/TR-46 para CDMA*

Los componentes principales del Modelo de Referencia son los siguientes:

2.2.1.1 *Mobile Station (MS)*

Es el componente que forma parte de la RAN (Radio Access Network), es decir, su funcionamiento se desempeña dentro de la parte inalámbrica de la red y habilita al usuario al acceso de servicios. El MS puede ser un dispositivo por sí solo o puede contener otros dispositivos tales como computadoras personales, o faxes conectados hacia éste.

2.2.1.2 *Base Station (BS)*

Es el vínculo entre el subsistema inalámbrico (RAN) y el MSC. La BS se compone de dos partes:

2.2.1.2.1 Base Transceiver System (BTS)

Consiste de uno o más transceptores ubicados en una localidad única y es donde se termina el sistema inalámbrico del lado de la red. El BTS puede ser localizado con el BSC o estar localizado independientemente.

2.2.1.2.2 Base Station Controller (BSC)

Permite el control y el manejo del sistema para uno o más BTS. El BSC intercambia mensajes tanto con el BTS como con el MSC. Algunos mensajes de señalización pasan a través del BSC de forma transparente.

2.2.1.3 Mobile Switching Center (MSC)

Es un sistema automático que funciona como vínculo, para el tráfico del usuario, entre la parte inalámbrica de la red y el sistema alámbrico de la misma. Las funciones del MSC pueden caer dentro de las siguientes:

Anchor MSC: El primer MSC en el cual se provee la conexión de radio en una llamada.

Border MSC: MSC que controla a los BTS adyacentes hacia la localización de un MS.

Candidate MSC: El MSC que posiblemente acepta una llamada o “Handoff”.

Originating MSC: El MSC que envía una llamada entrante hacia un MS.

Serving MSC: El MSC que actualmente está brindando el servicio de una llamada.

Tandem MSC: El MSC que provee solamente conexiones troncales para una llamada en donde ha ocurrido un “Handoff”.

Target MSC: El MSC que es seleccionado para un “Handoff”.

Visited MSC: El MSC que provee servicio hacia el MS.

2.2.1.4 Home Location Register (HLR)

Es la unidad funcional que es utilizada para el manejo de la información perteneciente a los suscriptores móviles (por ejemplo: ESN¹ o Electronic Serial Number, perfil del usuario, identificador internacional del MS, y localización actual del usuario). El HLR puede estar ubicado junto con el MSC o puede ser situado independientemente de éste.

2.2.1.5 Data Message Handler (DMH)

Utilizado para la recolección de información de tarificación.

2.2.1.6 Visited Location Register (VLR)

El VLR es vinculado con uno o más MSC. El VLR es la unidad funcional que dinámicamente almacena la información del MS (por ejemplo: ESN, perfil del usuario) la cual es obtenida del HLR del usuario cuando éste se encuentra localizado dentro del área de “Cobertura” del VLR. Cuando un MS que está en “Roaming” entra a una

¹ESN: Electronic Serial Number. Identificación única proporcionada al MS por un fabricante para la evasión de actos fraudulentos.

nueva área de cobertura regulada por un MSC, éste último informa al VLR asociado acerca del MS. El VLR realiza la solicitud al HLR después de que el MS ha pasado al procedimiento de registro.

2.2.1.7 Authentication Center (AC)

Realiza la autenticación o la encriptación de la información asociada con un MS en particular.

2.2.1.8 Equipment Identity Register (EIR)

Provee información acerca del MS para propósitos de registros.

2.2.1.9 Operation Systems (OS)

Responsables del manejo del sistema inalámbrico en general.

2.2.1.10 Interworking Function (IWF)

Su función es habilitar al MSC de comunicarse con otras redes.

2.2.1.11 External Networks

Ejemplo: PSTN (Public Switched Telephone Network), ISDN² (Integrated Services Digital Network), PLMN³ (Public Land Mobile Network) y PSPDN⁴ (Public Switched Packet Data Network).

Las siguientes interfaces están definidas para la interconexión entre los elementos del sistema antes descritos (para IS-95):

- BS - MSC (Interfaz A): Soporte de señalización y tráfico (voz/datos) entre BS y MSC
- BTS - BSC (Interfaz A_{bis}): Interfaz definida entre los dos componentes de la BS.
- MSC - PSTN (Interfaz A_i): Es la interfaz en donde se utiliza la señalización DTMF (Dual Tone Multifrequency) o MF (Multifrequency).
- MSC - VLR (Interfaz B): Definida por TIA IS-41 o ANSI-41.
- MSC - HLR (Interfaz C): Definida por TIA IS-41.
- HLR - VLR (Interfaz D): Es la interfaz en donde se utiliza la señalización SS7 (Señalización #7) entre el HLR y el VLR. Definida por TIA IS-41.
- MSC - ISDN (Interfaz D_i): Es la interfaz digital hacia al PSTN. Interfaz T1⁵. Utiliza el protocolo de señalización Q.931 que es el estándar para conexiones ISDN.
- MSC - MSC (Interfaz E): Es la interfaz para el tráfico y señalización entre dos RAN.
- MSC - EIR (Interfaz F).

²ISDN: Integrated Services Digital Network. Es una red que presta conexiones extremo a extremo a nivel digital ofreciendo diferentes servicios, con una capacidad básica de comunicación de 64 kbps.

³PLMN: Public Land Mobile Network. Red establecida con el fin de proveer servicios de comunicaciones mediante transmisores de radiofrecuencia a los suscriptores.

⁴PSPDN: Public Switched Packet Data Network. Red establecida y operada por una autoridad, administra la red y se encarga de transmitir los datos en paquetes. Un ejemplo es la Red Internet.

⁵T1: Estándar americano equivalente a 24 canales de voz multiplexados a una tasa de 1.5 Mbps.

- VLR – VLR (Interfaz G): Cuando se necesita la interconexión entre estas dos entidades esta interfaz es definida. Especificada por TIA IS-41⁶.
- HLR – AC (Interfaz H).
- DMH – MSC (Interfaz I).
- MSC – IWF (Interfaz L).
- MSC – PLMN (Interfaz M_i): Se define esta interfaz cuando la interconexión es hacia otra Red Inalámbrica.
- MSC – OS (Interfaz O).
- MSC – PSPDN (Interfaz P_i): Es la interfaz definida por el “Packet Network” que se interconecta al MSC.
- Terminal Adapter (TA) – Terminal Equipment (TE) (Interfaz R): Se especifica por cada terminal que se interconecta con el MS.
- ISDN – TE (Interfaz S).
- BS – MS (Interfaz U_m): Es la interfaz de radio (air interface).
- PSTN – DCE (Interfaz W).
- MSC – AUX (Interfaz X): Esta interfaz depende del equipo auxiliar que es conectado al MS.

2.2.2 Estandarización de la Interfaz MSC-BS para CDMA

La interfaz MSC-BSC se encuentra definida por TIA IS-634 la cual estandariza el proceso de señalización entre la BS y el MSC.

El estándar TIA IS-634 cubre sus funciones en los siguientes rubros:

- Descripción funcional generalizada (Functional Overview) (IS-634.1).
- Procesamiento de conexiones o llamadas y Servicios Suplementarios (IS-634.2).
- Manejo de los Recursos de Radio (IS-634.3).
- Manejo de la Movilidad, Autenticación y Privacidad (IS-634.4).
- Manejo de las Capas 1 y 2 del Modelo OSI (IS-634.5).
- Mensajes, Parámetros y Definiciones de Timers (IS-634.6).

El mecanismo de transporte para la Capa de Aplicación es ISDN, para la Capa Física está definida por ANSI T1.101, el Message Transfer Part (MTP) definida por ANSI T1.111 y el SCCP (Signaling Connection Control Part) especificado en ANSI T1.112. La interfaz física soporta uno o más enlaces digitales de 1.544 Mbps, cada uno proveyendo 24 canales de 56 kbps o 64 kbps. Cada canal es utilizado para tráfico o señalización. En contraste, tanto el MTP como el SCCP soportan sólo mensajes de señalización.

El estándar TIA IS-634 establece que el transcoder⁷ puede residir ya sea en la BS o junto con el MSC. Para el primer caso, se necesita un DS0⁸ (64 kbps) para cada conexión, mientras que para el segundo caso no se necesita de un DS0 completo.

⁶**TIA IS-41:** Conocido también como ANSI- 41. Define la operación y coordinación entre sistemas switch a switch o red a red para estándares IS-136 y algunos de 3G.

⁷**Transcoder:** Dispositivo que realiza la transformación de las señales de una representación digital a otra.

⁸**DS0:** Es la unidad base que representa la capacidad para la transmisión digital, dicha capacidad tiene un valor de 64 kbps.

El protocolo de señalización de la Capa de Aplicación (BSAP) se divide en dos. El primero es llamado BSMAP (Base Station Management Application Part), el cual se encarga de los mensajes que son enviados entre la BS y el MSC.

El segundo es conocido como DTAP (Direct Transfer Application Part) en donde los mensajes son enviados entre el MS y el MSC. La BS actúa como un medio transparente para los mensajes DTAP.

Los mensajes DTAP tienen aplicación sobre el Manejo de la Movilidad y Procesamiento de la conexión o llamada (incluyendo a los Servicios Suplementarios). Los mensajes BSMAP están asociados con el Manejo de los Recursos de Radio y con el Procesamiento de la llamada (en menor grado en comparación con los mensajes DTAP).

2.2.3 Configuraciones de Arquitecturas soportadas en CDMA

La arquitectura básica y elemental que describe un sistema CDMA es mostrada en la Fig. 2.1.

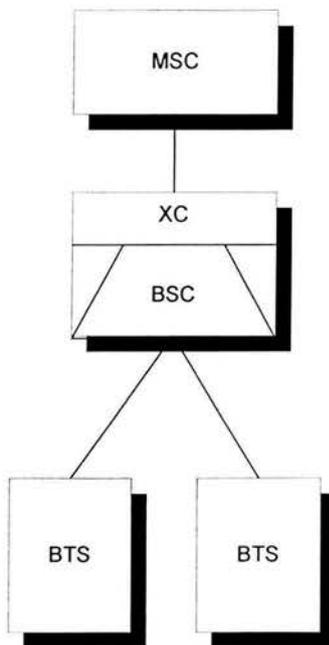


Fig. 2.1 Arquitectura básica CDMA

Las entidades básicas son el MSC, el transcoder (XC), la BS, BTS, y el MS. El MS no figura en el esquema antes ilustrado pero se asume que el MS se comunica con el BTS a través de la interfaz de radio. Asimismo se observa que para TIA IS-634 la BS se considera como el BSC. Uno o más BTS son conectados al BSC.

El XC soporta tanto las funciones de codificación de voz (vocoder) como la Diversidad de la Recepción (Diversity Reception). Esta característica le permite al XC seleccionar

el frame más adecuado cuando múltiples conexiones son establecidas durante un “Soft Handoff”.

El XC tiene las siguientes funciones:

- Distribución de la voz y los datos en el Canal de Tráfico del Forward Link hacia todas las BTS que se involucran en una conexión. Durante un “Soft Handoff”, varios BTS son asignados a la llamada. El XC se encarga de seleccionar el mejor frame de voz/datos de todos los BTS asociados con la llamada en el Canal de Tráfico en el Reverse Link. Esto implica que las características de la calidad de la señal de voz/datos son proporcionadas por el XC.
- Decodificación de frames en el formato QCELP⁹ a PCM¹⁰ (en el caso de frames de voz) que son enviados en el Canal de Tráfico del Reverse Link.
- Decodificación de frames en el formato PCM a QCELP (en el caso de frames de voz) que son enviados en el Canal de Tráfico del Forward Link.
- Adaptación de la tasa de frames de voz con el fin de utilizar completamente el ancho de banda de los circuitos terrestres.

El XC se considera como entidad lógica de la BS, aunque el XC puede estar físicamente ubicado en el BS, en el MSC o un sitio entre el BS y el MSC.

2.3 *Arquitectura para una infraestructura con Técnica de Acceso CDMA2000 1x*

La Arquitectura de una red 3G no difiere significativamente de una red 2G en el sentido físico. Cada uno de los componentes de un sistema de 2G existen en el de un 3G aunque se tienen cambios en el “backbone¹¹” de la Red, los enlaces con la red de datos, el Software y el Hardware de los RBS, BSC, MSC y MS.

Para un mejor entendimiento de esto se muestra la siguiente Tabla 2.2 en la cual se indican para cada variante de CDMA los cambios necesarios para su infraestructura.

<i>Requerimientos de Equipo</i>	<i>IS-95A</i>	<i>IS-95B</i>	<i>CDMA2000 1x</i>	<i>CDMA2000 3x</i>
Infraestructura	Standard	Nuevo Software en BSC	Nuevos switches, actualización en Software en BSC, cambios en el “backbone” de la red, nuevas tarjetas en el BTS	Modificaciones en el “backbone” de la red, nuevas tarjetas en el BTS

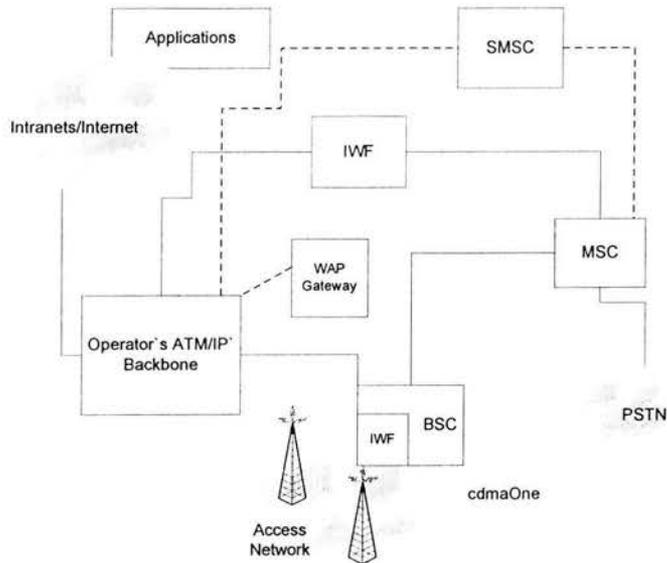
Tabla 2.2 Cambios realizados en cada una de las evoluciones de CDMA

⁹**QCELP:** QUALCOMM code-excited linear prediction. Es el algoritmo de procesamiento para la voz en CDMA que se especifica en TIA IS-95A.

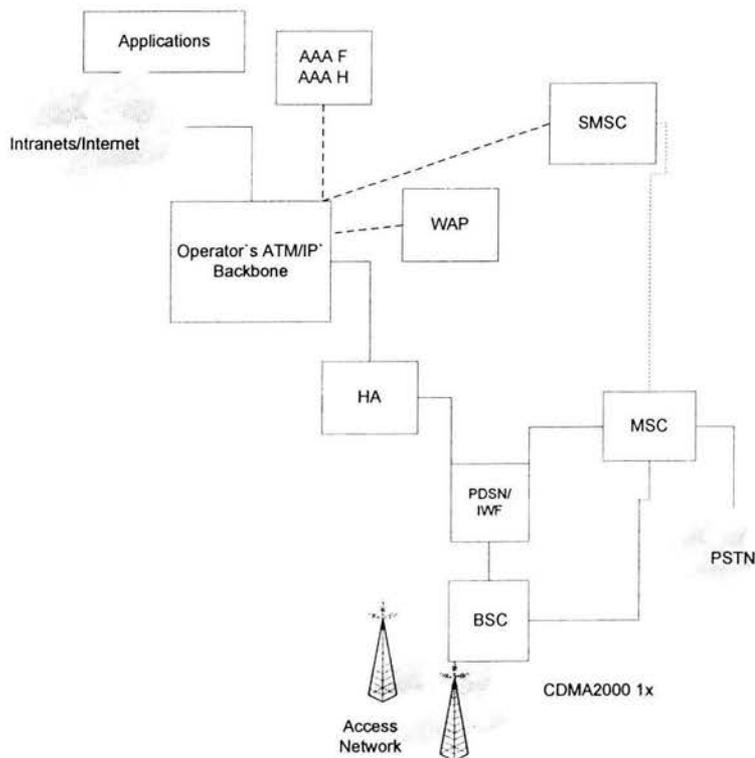
¹⁰**PCM:** Pulse Code Modulation: Técnica de modulación que permite la conversión de una señal analógica a una cadena de bits.

¹¹**Backbone:** Es un enlace de gran capacidad al cual se le interconectan otras sub-redes. Constituida por una serie de nodos de conexión que forman un eje de conexión principal.

Antes de adentrarse a los cambios específicos realizados en cada uno de los componentes de la red CDMA2000 1x sería recomendable observar de manera globalizada, el diseño de la red para cada una de las tecnologías para determinar en forma gráfica, sus diferencias y similitudes.



WAP. Wireless Application Protocol. Estándar abierto que permite el acceso de servicios desde el MS al Internet.
SMSC. Short Message Service Center. Central destinada a la operación de mensajes cortos.
ATM. Asynchronous Transfer Mode. Tecnología de transporte de múltiples servicios.



AAA_F Authentication, Authorization and Accounting. Entidad de Red para servicios de autenticación, autorización y contabilización en la Red No Local.
AAA_H Authentication, Authorization and Accounting. Entidad de Red para servicios de autenticación, autorización y contabilización en la Red Local.
HA. Entidad de Red que determina si el MS se encuentra en la Red Local

Fig. 2.3 Redes cdmaOne® y CDMA2000 (Access y Core Networks)

Más adelante se describirán los cambios necesarios que hay que realizar a la red cdmaOne[®] con el fin de emigrar a CDMA2000 1x para cada uno de los componentes del Sistema de Telefonía Móvil.

2.3.1 *Modelo de Referencia para CDMA2000 1x*

La Fig. 2.4 describe las Entidades de Red y los Puntos de Referencia que se relacionan en una Red Inalámbrica CDMA2000 1x. Las Entidades de Red se representan por cuadrados, triángulos y rectángulos redondeados, mientras que los Puntos de Referencia se representan mediante círculos.

Cabe mencionar que el Modelo de Referencia para CDMA2000 1x es un diagrama de bloques funcional. Una Entidad de Red representa un grupo de funciones que se desempeñan en la misma y no necesariamente es un dispositivo físico. Un ejemplo es el MSC el cual si es un dispositivo físico.

Un dispositivo físico puede contar de una Entidad de Red o una combinación de Entidades tales como MSC-VLR-HLR y AC.

En algunas ocasiones por razones prácticas la Entidad de Red es un dispositivo físico, tal como es el MS.

Por otro lado el Punto de Referencia (Reference Point) es el “punto” conceptual que divide dos grupos de funciones dentro de la red, y no necesariamente es una interfaz física. Un “Reference Point” es también una interfaz física cuando las Entidades de Red que se sitúan a cualquier lado de la interfaz son contenidas en diferentes dispositivos físicos.

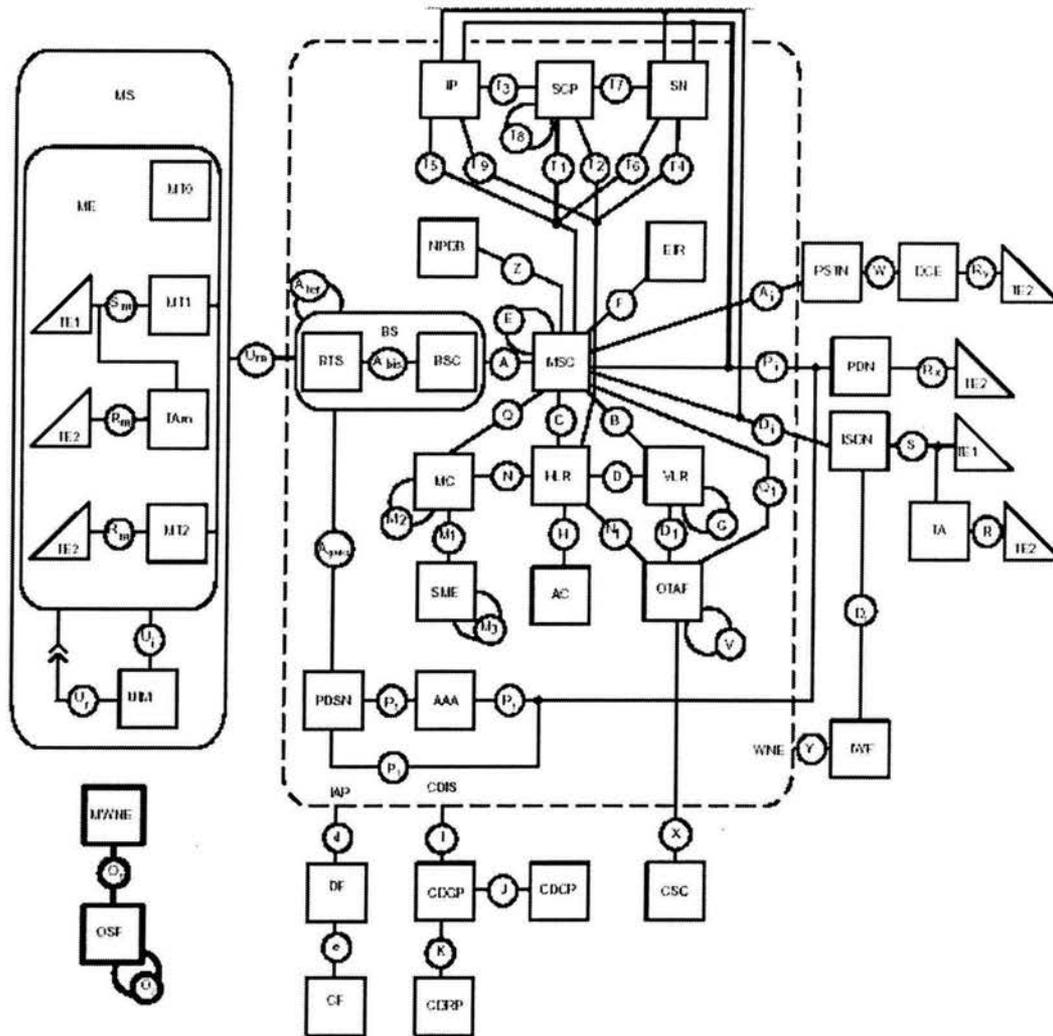


Fig. 2.4 Modelo de Referencia para CDMA2000

2.3.1.1 MS

2.3.1.1.1 Arquitectura del MS 2G

Como se había señalado, el “Handset” o Unidad Terminal es el equipo con el cual el usuario móvil podrá tener acceso al sistema o Red Celular. Dicho dispositivo debe de contar con el Hardware necesario para soportar los servicios de la Tercera Generación así como la “Capacidad” de realizar un proceso rápido de datos.

El punto a analizar en el siguiente apartado es distinguir las funciones que tienen cada uno de los componentes de las Unidades Terminales, así como su integración para brindar servicios multimedia a altas tasas de transmisión y el manejo de servicios personalizados que involucren la tecnología de Internet Móvil.

La transición de los sistemas celulares de la Segunda Generación enfocados principalmente a la transmisión de las señales de voz y bajas tasas de transmisión de datos hacia arquitecturas de Tercera Generación en donde se manipulan principalmente datos, está marcada por un cambio radical en la arquitectura del “Handset”.

Un esquema en el que se observa el Sistema de Banda Base de un “Handset” de 2G se ilustra en la Fig 2.5. Típicamente ese sistema incluye un chip analógico para Banda Base, otro de tipo digital, así como chips adicionales de memoria.

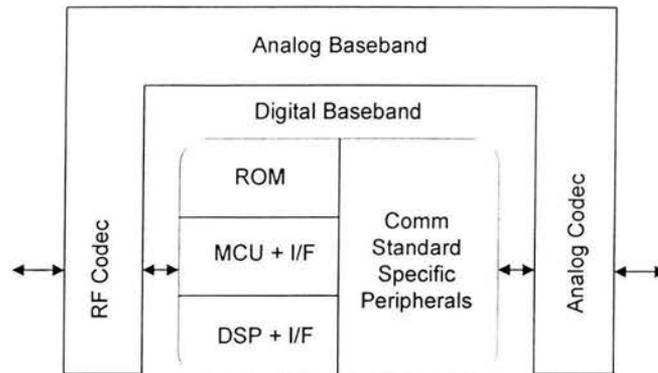


Fig. 2.5 Arquitectura para un MS de Segunda Generación

- Sistema analógico para Banda Base

Incluye convertidores de datos para la interfaz del micrófono y el altavoz de la Unidad Terminal, así como convertidores para la interfaz de la señal digital hacia el subsistema de Radiofrecuencia. Los convertidores de audio son diseñados para soportar 8 kHz de frecuencia de muestreo. Los convertidores de Radiofrecuencia comunican las señales moduladas, codificadas hacia el radio del “Handset”.

- Sistema digital para Banda Base

Incorpora dos procesadores, así como memorias, periféricos y otros circuitos (tales como “timers” para TDMA o “correladores” para CDMA). El sistema está diseñado para operar en conjunto con un componente llamado DSP (Digital Signal Processor), el cual sirve para implementar la Capa Física del protocolo de comunicaciones. Éste incluye funciones del Vocoder y del Módem. En algunos diseños de “Handsets” de 2G, el DSP opera a una velocidad de reloj de 30 a 50 MHz. La memoria para soportar el desempeño del DSP (tanto la SRAM como la ROM) es implementada siendo menor a la capacidad de 100 kB.

El segundo procesador, denominado MCU, es utilizado para soportar capas más altas del protocolo y generalmente trabaja a frecuencias más lentas, generalmente a 5 MHz.

- Debido a la complejidad que encierra la pila del protocolo (en donde se aloja el

programa de almacenamiento, el cual ocupa de 256 kB a 1024 kB) resulta impráctico integrarlo hacia el MCU. Consecuentemente la memoria utilizada para este caso es la llamada “Flash”.

2.3.1.1.2 Arquitectura del MS 3G

Los Equipos Terminales de esta generación disponen de una nueva arquitectura, sin embargo, la funcionalidad que tenía el Sistema de Banda Base en las unidades de la Segunda Generación sigue en pie. Uno de los más importantes componentes de un “Handset” 3G es el SOC (System On a Chip) que realiza el manejo de las funciones en la Banda Base tales como codificación de la voz, corrección de errores, modulación y demodulación. En el núcleo de este componente se encuentra el DSP.

Por otro lado, en los dispositivos relacionados con el manejo de datos, se tienen que involucrar recursos de procesamiento para el soporte de interfaces de operación más complejas que vayan más allá del simple manejo de las señales de voz.

Para las tasas de transmisión destinadas hacia los servicios 3G (144 kbps- 2 Mbps) se requerirá un alto procesamiento de la señal. La velocidad de los relojes de los DSP deben de alcanzar los 200 MHz, o en su defecto, la capacidad de ejecutar 3000 millones de instrucciones por segundo (MIPS). Asimismo, los sistemas 3G requerirán circuitos denominados como ASIC (Application-Specific Integrated Circuit) que ayuden al procesamiento de la señal para el aumento de la capacidad del DSP. En la Fig. 2.6 se muestra el diagrama de bloques para una arquitectura 3G.

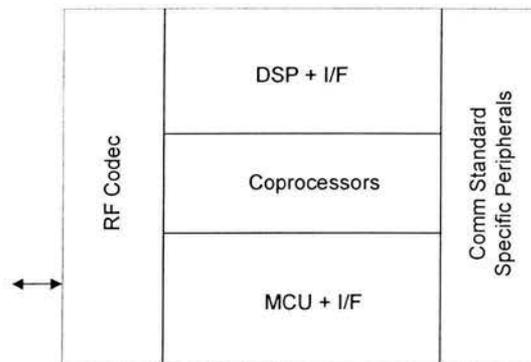


Fig. 2.6 Arquitectura de un MS de Tercera Generación

La utilización de los DSP programables son una buena opción para este tipo de arquitectura ya que proveen una eficiencia en el uso de la potencia para el procesamiento de la información, con lo que le da flexibilidad a las aplicaciones utilizadas por el usuario móvil. Es así que el DSP debe de ser compatible con el código C con el objetivo de minimizar la rutina de programación bajo lenguaje ensamblador.

Otra ventaja de utilizar un esquema de código reducido para una aplicación en particular, reducirá el tamaño del SOC, así como el costo del sistema permitiendo un uso eficiente de la memoria. En un código elaborado en C para una aplicación 3G aumenta

aproximadamente diez veces que el código para un “Handset” 2G, de ello a que el DSP sea lo realmente eficiente para una determinada aplicación. La eficiencia que tenga el DSP influirá también en la innecesaria implementación de chips adicionales que se agreguen a la funcionalidad del Sistema de la Banda Base y que con ello se evite la necesidad de recurrir al uso de la memoria y de potencia para el traslado de información entre chips.

El diseño de la arquitectura 3G dependerá por lo tanto del desempeño de la interfaz, el nivel de consumo de la potencia, costos del Hardware, la complejidad del sistema y tiempo de mercado. Así por ejemplo, una Unidad Terminal podrá constar de diversos procesadores diseñados para operar bajo los lineamientos que fueron diseñados. Cabe mencionar, que el uso de los procesadores en el “Handset” deberá también estar limitado por el nivel de potencia requerido. A tasas más altas, se requiere una velocidad mayor del reloj y por lo tanto una mayor exigencia en la potencia. Por otra parte, el manejo de múltiples procesadores conlleva un manejo óptimo de la memoria. Las operaciones realizadas por el Sistema de Banda Base y por el Sistema de las Aplicaciones se desempeñan de diferente forma. Estas operaciones requieren del uso de memoria volátil y no volátil.

El “Handset” requiere manejar múltiples protocolos y tecnologías para soportar varios tipos de servicios y datos. Algunas de las tecnologías que 3G tomará ventaja para multimedia serán: MPEG-4 (Motion Pictures Experts Group audio layer 4) en el caso de video, MPEG-3 para audio, y JPEG (Joint Photographic Experts Group) para imágenes. Otras funcionalidades implementadas serán: VoIP (Voz por IP) y Bluetooth¹², así como soporte para MMC¹³ (Multimedia Card). El DSP podrá capaz de manejar algunas funciones tales como codificación-decodificación, reconocimiento de voz y manipulación de MPEG-4 que puede ser implementado en el Software del DSP. Un DSP aceptable tendrá como característica el de proveer un rango de funciones necesarias con un mosaico robusto de capacidades en Software y con el uso mínimo adicional de Hardware.

El concepto SOC viene a sintetizarse en el término chipset. Actualmente, los chipsets, son desarrollados por varios proveedores, entre ellos QUALCOMM[®], el creador de la Técnica de Acceso CDMA, los cuales se destinan al servicio de Telefonía Móvil de 3G. Algunos de ellos soportan múltiples tecnologías (WCDMA, GPRS, GSM, CDMA2000 1x) ofreciendo características adicionales tales como: gpsOne[®], MPEG-4, JPEG, MP3, etc, con el fin de brindar, para el caso del primer citado, servicios de radiolocalización y en los otros, servicios de multimedia.

2.3.1.1.3 Sistema de radiolocalización gpsOne[®] en aplicaciones residentes en MS 3G

Las capacidades de ofrecer servicios de radiolocalización han sido temas importantes en la industria inalámbrica que se han visto las formas de crear aplicaciones que soporten tales servicios. De esta forma QUALCOMM[®] ha decidido incluir en sus chipsets MSM (Mobile Station Modems) la tecnología gpsOne[®] la cual ha sido la única probada para la radiolocalización basándose en GPS, destinado a servicios de 3G.

¹²**Bluetooth:** Tecnología de enlaces de radio de corto alcance entre dispositivos portátiles (como MS) permitiendo la transmisión de información entre un dispositivo y otro.

¹³**MMC:** Multimedia Card. Tarjeta de memoria flash que permite que los datos sean salvados en ella, permitiendo el intercambio de información entre los MS. Asimismo tiene la funcionalidad de ser un medio de almacenamiento para programas (entre ellos los de multimedia.)

Tradicionalmente, existen dos métodos para proporcionar información de radiolocalización en sistemas inalámbricos: El primer método se basa en la solución-red y la otra en la solución-“Handset”.

Las solución-red depende de la señal transmitida desde el MS y de la recepción de ésta en las múltiples RBS, utilizando el Ángulo de Arribo (AOA) y el Tiempo de Arribo (TOA) para determinar la posición. Sin embargo, este tipo de solución se enfrenta a una serie de dificultades tales como multitrayectorias, difracción, disponibilidad de la RBS y actualizaciones costosas.

La solución-“Handset” hace uso del GPS (Global Positioning System), el cual es un sistema mundial de 24 satélites y de estaciones terrenales. Haciendo una medición precisa de la distancia desde tres satélites, el receptor triangula la posición del MS. Esta solución también tiene que enfrentarse a una serie de circunstancias tales como el estado del receptor GPS, así como la inhabilidad del MS para acceder hacia el satélite debido a obstrucciones físicas tales como edificios, topografía, etc.

En la práctica estas dos soluciones se complementan. Por ejemplo, en una zona rural (suburbana) no hay muchas RBS que puedan monitorear al MS sin embargo el receptor GPS puede estar enlazado a cuatro o más satélites. Por otro lado, en áreas urbanas, los receptores GPS no detectan varios satélites sin embargo el MS puede ser monitoreado por dos o más RBS.

El sistema trabaja a base de las mediciones obtenidas de la constelación GPS y de la Red Celular/PCS, las cuales son enviadas hacia el PDE (Position Determination Entity), localizado en la red el cual constituye el servidor gpsOne[®], donde las mediciones son combinadas para determinar una posición precisa.

En otras palabras, el MS utiliza la asistencia que le brinda el servidor gpsOne[®] que adquiere a través de la señal del GPS.

Para la localización de un MS se recurren a dos funciones: medida de la señal y cálculo de la posición.

El sistema gpsOne[®] es flexible para permitir la funcionalidad de la localización para ser construida en una variedad de configuraciones utilizando diferentes tecnologías de radiolocalización. De esta manera si se ubica el PDE en la RBS:

- Permite que el PDE tome ventaja sobre cualquiera de las mejoras que se haga en la interfaz de aire.
- Reduce la interferencia entre la RBS y el MSC.
- Soporta todas las tecnologías de radio-localización reduciendo de esta manera lo relativo a los datos que van desde la RBS y el MSC.
- Disponibilidad de información de localización después de la conexión de una llamada.
- Facilita la determinación de la localización por asistencia del MS.
- Reduce el impacto en la capacidad del “backhaul¹⁴” de la red.

¹⁴ **Backhaul ó Backhaul Network:** Conjunto de Entidades de Red o nodos tales como BS, BSC y MSC así como de interfaces que permiten la comunicación entre estos componentes.

La solución gpsOne[®] esta integrada en determinados “chipsets” MSM de QUALCOMM[®] ahorrándose modificaciones en cada RBS, ayudándose por medio de la creación de una base de datos en la cual se especifique la localización específica de cada RBS en la red. Con ello se vuelve una tecnología que requiere de mínimos cambios en la infraestructura de la red, convirtiéndose en un medio muy costeable.

A continuación se muestra en la Fig 2.7 el funcionamiento de la RAN en un Sistema de Telefonía Móvil (en este caso cdmaOne[®]) asistido por la solución gpsOne[®].

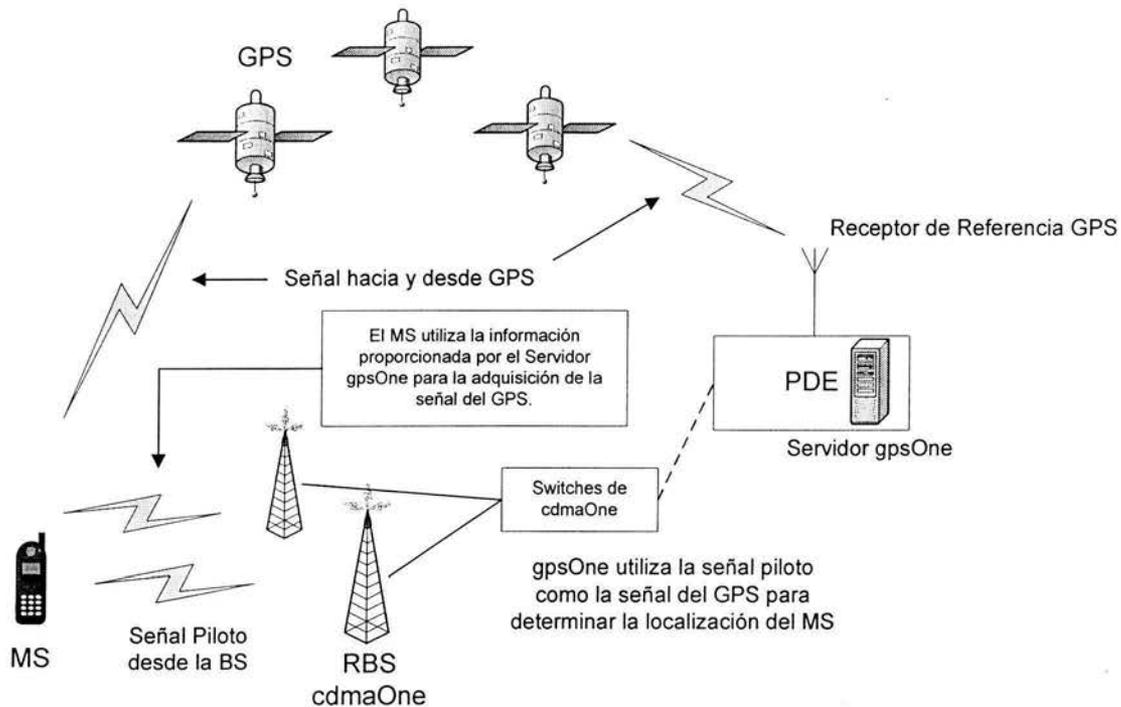


Fig. 2.7 Solución gpsOne[®] en la RAN de cdmaOne[®]

Como se había mencionado, los “Handsets” requieren de aplicaciones que soporten este tipo de servicio que generalmente se visualizan como “ambientes de navegación”. En la siguiente Figura los usuarios móviles pueden hallar su posición utilizando un sensor geomagnético instalado en el “Handset” el cual es capaz de determinar la posición actual del dispositivo. Por mencionar un ejemplo, el operador KDDI Group de Japón provee el sistema “Ez-Navigation” el cual es un ambiente avanzado de navegación que incluye el servicio gpsOne[®]. (Véase Fig. 2.8).



Fig. 2.8 MS 3G asistido por el servicio gpsOne®

2.3.1.2 RBS

La plataforma en la cual se monta la arquitectura de CDMA2000 1x se construye bajo el esquema de ATM para técnicas de conmutación y de switcheo asegurando la calidad de información que viaja a través de la RAN.

Los elementos de la red tales como la RBS, BSC y el RNM son interconectados bajo el protocolo TCP/IP dentro de la Intranet. El RNM constituye un módulo que provee el manejo adecuado de la red. En la RAN, la Intranet se construye bajo el protocolo ATM¹⁵ con las adecuadas prioridades de tráfico. De esta manera, la Intranet permite que todos los nodos puedan ser accesibles desde cualquier lado, es decir, desde la RBS, RNM o donde exista cualquier conexión hacia la Intranet.

El RNM, junto con las herramientas (Software) que ayudan al diseño del transporte de datos dentro de la red así como la ejecución de la optimización y evaluación de la misma, se encargan del intercambio de información en la configuración. De esta manera cuando se ha logrado la configuración de la red a través del Software, ésta es cargada hacia la RBS y al BSC por medio de la asistencia del RNM.

Debido a la compatibilidad existente de CDMA2000 1x con la infraestructura de cdmaOne®, los proveedores (operadores) sufren menos riesgos en hacer inversiones más fuertes para hacer los cambios respectivos, siendo éstos mínimos ya que éstos son principalmente de Software. Es así que la RAN de CDMA2000 1x soportará Unidades Móviles pertenecientes a los estándares de IS-2000 1x, IS-95A e IS-95B, con la posibilidad de manejar la misma portadora de CDMA2000.

Con la introducción del sistema 3G, se requerirán de RBS que se encuentren operando en células de pequeñas dimensiones pero de gran urbe en donde se exijan grandes demandas de información. Debido a ello la sensibilidad del receptor de la RBS tiene que ser aumentada con respecto a las Estaciones Base de los sistemas 2G, con ello, se reduce la potencia transmitida desde la Unidad Móvil hacia la RBS. Asimismo con el incremento de la sensibilidad en el receptor, gracias a la optimización de las técnicas de

¹⁵ATM: Asynchronous Transfer Mode. Estándar definido por la ITU-T para la transmisión de celdas con información de múltiples servicios tales como voz, video y datos. Es una tecnología de conmutación y multiplexación de celdas que combina los beneficios de la conmutación de circuitos (capacidad garantizada y un retardo de transmisión constante) con los de conmutación de paquetes (flexibilidad y eficiencia para tráfico intermitente).

decodificación, se puede reducir el BER¹⁶ (Bit Error Rate) incrementando la capacidad de transmisión de paquetes en la red.

Las RBS que le daban servicio a la tecnología cdmaOne[®] pueden ser actualizadas para el servicio a CDMA2000 1x. La actualización en cuanto a Hardware, reside en el cambio de la Unidad Principal de la RBS mientras que las Unidades Remotas se dejan intactas. Simplemente dichas Unidades Remotas son conectadas a la nueva Unidad Principal por medio de fibra óptica.

Asimismo se requiere de una actualización en el Software. Mientras que algunos modelos de RBS en sus Unidades Remotas soportan sólo dos portadoras RF, los operadores pueden agregar tarjetas para aumentar la capacidad del sitio. La Fig. 2.9 muestra como un operador puede incrementar la “Capacidad” de CDMA2000 1x de un sitio el cual esta operado bajo una cierta Estación Base. La ventaja es que los operadores pueden adicionar tarjetas a la Unidad Principal para el incremento de la capacidad de datos y de voz, de acuerdo a las necesidades del mercado.

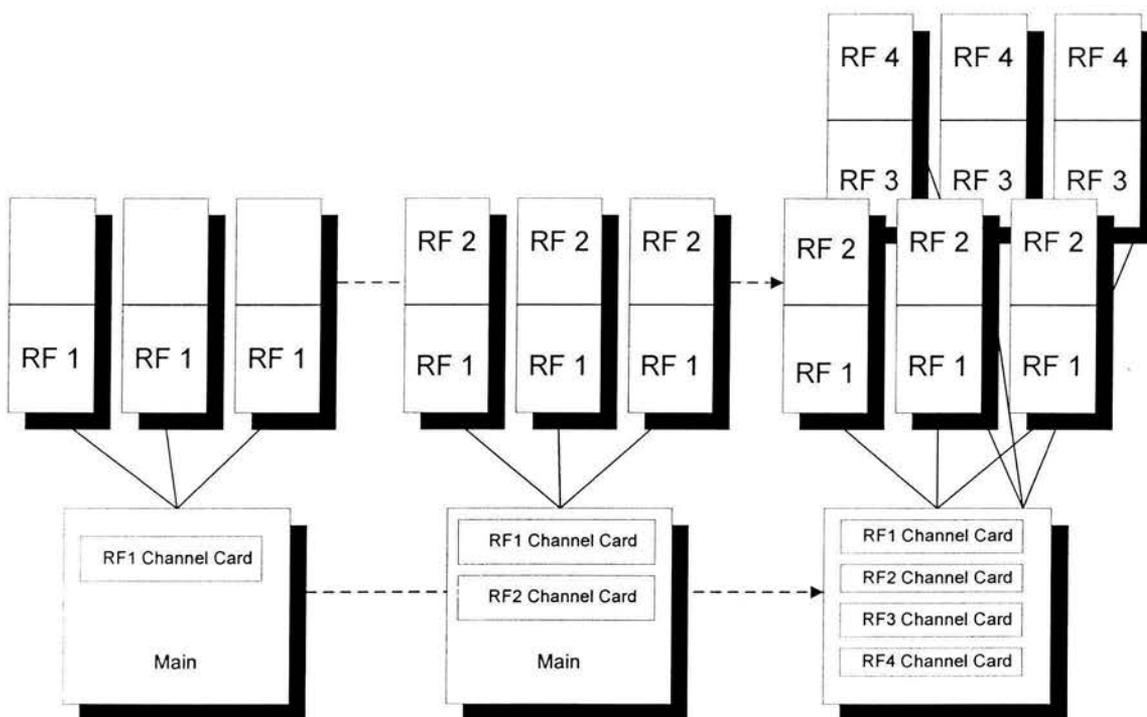


Fig. 2.9 Incremento de la capacidad de datos y de voz en la actualización de una RBS CDMA2000

La infraestructura celular bajo la cual se basa CDMA2000 1x debe manejar una interfaz abierta que permita la interoperabilidad entre diversos proveedores, este esquema es conocido como IOS (Interoperability System). De esta manera si los equipos de la Estación Base así como del Controlador de la misma (RBS y BSC) son del proveedor “X” estos pueden ser conectados para interoperar sin problemas con el MSC proporcionado por el proveedor “Y”.

¹⁶BER: Bit Error Rate. Es la cantidad de errores ocurientes en un stream de datos transmitidos.

La Tercera Generación de las Estaciones Base (BSC y RBS) para CDMA2000 1x combinan las ventajas de IP con las capacidades de QoS¹⁷ (Quality of Service) de ATM. En la Fig 2.10 se muestra un esquema de los tres componentes de una Estación Base.



Fig. 2.10 BSC CDMA2000

Debido a que la plataforma ha sido optimizada para la telefonía móvil, se utilizan recursos para brindar servicios IP con la misma clase de confiabilidad que las telecomunicaciones tradicionales. El esquema de una Estación Base para CDMA2000 1x permite la fácil migración hacia el manejo de VoIP y el paso hacia MGW¹⁸ (Media Gateways).

Como visión a futuro, las RBS pueden ser actualizadas para soportar CDMA2000 1xEV-DO, CDMA2000 1xEV-DV, CDMA2000 3x. Después de que hayan sido actualizadas, las RBS podrán soportar tasas de 2 Mbps, asimismo se habrá mejorado la capacidad de voz y se buscará la facilidad de establecer un “Roaming” internacional entre los sistemas CDMA2000 y WCDMA.

A continuación se muestra el diagrama de las Estaciones Base dentro de la red de Telefonía Móvil en donde se enseña el vínculo que éstas tienen con los demás elementos de la red en donde se ha implementado CDMA2000 3x. (Véase Fig. 2.11).

¹⁷**QoS:** Es una medida del desempeño de una red que refleja la calidad de la transmisión y de la disponibilidad del servicio.

^{17.1}**ATM QoS :** Utilizando ATM, en donde se puede preseleccionar el nivel de la calidad en términos del servicio, el QoS puede ser evaluado y garantizado en términos del retardo promedio en un “gateway”, la variación del retardo en un grupo de celdas, pérdidas de celdas así como en el valor del bit error rate.

¹⁸**MGW:** Media Gateway. Gateway cuya función es puentear la brecha entre la Red de Circuitos PSTN y la Red IP. Los Media Gateways conectan los troncales de señales analógicas (voz) de la PSTN hacia las Redes de Paquetes.

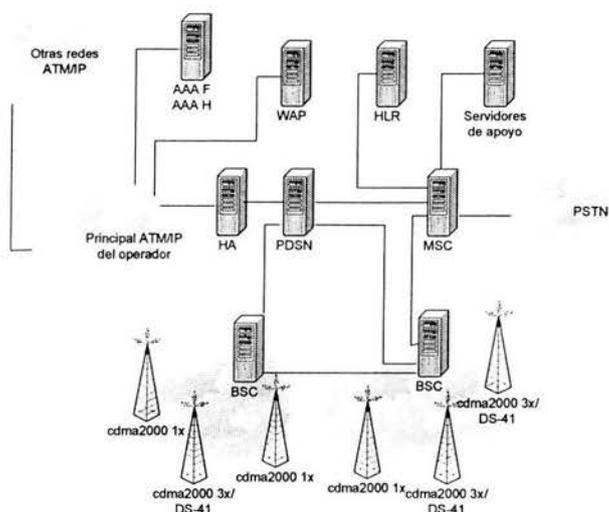


Fig. 2.11 Adición de Estaciones de Base de Radio CDMA2000 3x

El manejo de potencia a la salida, generalmente para una RBS de CDMA2000 1x, es de 20 W por lo que puede dar una amplia “Cobertura” debido a su alta potencia en RF. Las bandas en las que operan las Estaciones Base puede ser en la Celular o en PCS, (es decir: 800 MHz y 1900 MHz).

Otra ventaja que ofrecen las RBS de esta tecnología es la escalabilidad que éstas representan provocando que la “Capacidad” de tráfico nunca este limitado por el Hardware.

Por otro lado como todo equipo, ofrece capacidad de redundancia en caso de la falla de un módulo. La RBS puede ser adaptada a medios externos o internos dependiendo de la colocación que le quiera dar el operador.

2.3.1.3 BSC

El BSC es un componente que provee el control y manejo para uno o más RBS. El BSC intercambia mensajes tanto para el BTS como el MSC. El tráfico y la señalización relacionados con el control de llamadas y el manejo de movilidad del MS deben de pasar de forma transparente a través del BSC.

La actualización del BSC para operar con la infraestructura de CDMA2000 1x debe ser tal que debe de soportar la arquitectura ATM, así como las tasas 1x y el aumento de la capacidad del “airlink”¹⁹.

2.3.1.4 MSC

Como se había visto, el MSC provee la interfaz de la información del usuario (tráfico) entre la Red Inalámbrica y otras Redes Públicas, tales como PSTN o ISDN. El MSC sirve como switch entre el inicio de tráfico de un MS en cuestión y la terminación del tráfico del mismo.

¹⁹**Airlink:** Es el par del conjunto de canales de RF de la Capa Física utilizados para la comunicación entre el MS y la RBS.

El MSC es generalmente interconectado con múltiples BS.

Al igual que en la mayoría de los componentes del sistema CDMA2000 1x, los cambios residen en la actualización del Software del MSC.

2.3.1.5 HA

Entre una de las funciones del HA (Home Agent) se encuentra el determinar si el MS se encuentra accediendo a la Red Celular Local al cual éste pertenece o a una diferente o ajena. Asimismo detecta si el MS se ha movido de una red hacia otra. El MS, cuando está fuera de su área local puede registrarse ya sea por medio de un agente externo (PDSN) o directamente a su respectivo HA. En resumen, el HA se encarga de seguir la localización del MS cuando éste se mueve de una zona a otra. El HA funciona como un enrutador en la Red Celular Local, el cual utiliza un mecanismo que permite enviar el tráfico de la Internet de tal manera que el IP del MS no tenga que estar cambiando cada vez que éste se conecte a una localidad diferente. El HA trabaja conjuntamente con el FA, el cual también es un enrutador pero que ahora desempeña su función en la Red No Local.

El HA provee un medio de seguridad mediante la autenticación del MS a través del registro vía “IP Móvil”. Asimismo el HA mantiene conexión directa con el AAA con el fin de recibir información provisional de los suscriptores.

2.3.1.6 FA

El FA (Foreign Agent) funciona conjuntamente con el HA para enviar el tráfico de la Internet hacia un MS que se encuentra conectado a ésta desde cualquier localidad distinta a su zona local.

2.3.1.7 IWF

El IWF es una plataforma de Hardware y Software la cual sirve como “gateway²⁰” desde la Red Inalámbrica hacia el acceso al Internet, Intranets, conexión dial-up al PSTN, y a los servicios de fax. El IWF se implementó junto con la Segunda Generación en donde ya era posible el manejo de Redes IP.

La plataforma IWF funciona como un “gateway” de datos entre la Red Inalámbrica de CDMA y las Redes Alámbricas. En una conexión normal de datos, los datos son ruteados a través de un módem hacia el PSTN, sin embargo el IWF provee una llamada móvil con acceso digital hacia el Internet evitando así el PSTN.

2.4 Nuevas entidades de red en la infraestructura de CDMA2000 1x

2.4.1 PDSN

La función primaria del PDSN (Packet Data Service Node) es el de funcionar como una conexión punto entre la Red Inalámbrica y el Internet. El protocolo que es

²⁰*Gateway: Componente de la red que actúa como entrada de otra red.*

utilizado para tal función es el PPP. El PDSN ejecuta funciones tales como enrutamiento, conteo de paquetes así como auxilio del proceso de conteo para efectos tarifarios.

De esta manera, el PDSN representa la ruta de la Red Inalámbrica hacia la Red IP. Esto quiere significar que el PDSN “guarda” un registro de los Nodos Móviles (MN) o MS y después envía los datos hacia el respectivo MS sobre la RBS al cual se encuentra conectado. Es necesario que el HA (Home Agent) sirva como vínculo entre la interfaz inalámbrica y la red dentro del “IP Móvil”. Esto significa que el MS confirma su presencia a través de la red por medio del HA.

El PDSN juega un rol limitado en la función de conteo para el auxilio del AAA (Authentication, Authorization and Accounting Server). El PDSN recibe y guarda dicha información en el UDR (Usage Data Record). En base del contenido y del contexto de los mensajes de solicitud de registro, el PDSN envía la información de conteo vía RADIUS²¹ al AAA. El HA no participa en dicho proceso.

El PDSN puede funcionar en dos modos de operación: “Simple IP” y “Mobile IP”. En el primer caso, si el MS se mueve de un PDSN a otro entonces la conexión PPP debe de restablecerse y se adquiere una nueva dirección IP. Esto obliga a que el usuario reestablezca todas sus sesiones. En otras palabras, el usuario le es asignado una dirección IP de forma dinámica desde el PDSN local, esta dirección IP será válida, mientras el MS tenga servicio por la RAN en la cual tenga conectividad. Sin embargo, si el MS se mueve a una zona en la cual el PDSN local ya no tenga función sobre el MS en cuestión entonces la dirección IP ya no será válida.

Situación contraria sucede con el segundo caso (Mobile IP) en donde se implementa la funcionalidad del FA permitiendo la movilidad del MS más allá de la Red Local IP, con ello se logra que se consiga el “Handoff” entre las BS que están conectadas a PDSN separadas.

En resumen, las funciones del PDSN son las siguientes:

- Establece, mantiene y termina la sesión PPP (Point to Point Protocol).
- Establece, mantiene y termina el enlace lógico con la Red Inalámbrica a través de la interfaz R-P²² (Radio Packet).
- Inicializa la Autenticación, Autorización y Conteo (AAA) del MS hacia la Red de Paquete de Datos (Internet) vía servidor AAA.
- Recibe parámetros de servicio para el MS desde el AAA.
- Enruta paquetes entre la RAN y el Internet.
- Recolecta registros relacionados con el servidor AAA.
- Soporta tanto “IP Simple” como “IP Móvil”.
- Para el “IP Móvil” el FA tiene que ser implementado en el PDSN. Para tal caso, el HA es requerido.

2.4.2 PCF

El PCF (Packet Control Function) es una entidad en la RAN que controla el retardo de los paquetes de datos entre la BS y el PDSN.

²¹**RADIUS:** *Remote Authentication Dial In User Service. Conjunto de protocolos utilizados para proveer las funcionalidades del AAA hacia los usuarios móviles mediante un servidor establecido.*

²²**Interfaz R-P:** *Es la interfaz existente entre el PCF y el PDSN en una red CDMA2000*

El PCF generalmente forma parte del BSC. Si existen paquetes destinados hacia un MS en específico provenientes de la Internet y no existen Recursos de Radio alojados, entonces los paquetes son sostenidos en el PCF hasta que el usuario le es destinado un canal. El PDSN no dispone de esa función mientras que el PCF si cuenta con ella.

Otro ejemplo del funcionamiento del PCF se observa en un “Hard Handoff” hacia otra BS. El “Source PCF²³” envía su información hacia el “Target PCF²⁴” para reestablecer la sesión de paquetes hacia el PDSN.

2.4.3 AAA

El servidor AAA (Authentication, Autorization and Accounting) puede ser categorizado como el núcleo del PCN²⁵ (Packet Core Network), es decir de la Red Central de Paquetes.

Cuando un servidor AAA es implementado en la Red de Servicios, su papel primordial es el de pasar solicitudes de autenticación desde el PDSN hacia la Red IP, asimismo autorizar las respuestas que provienen de la Red IP y llevarlas al PDSN. Por otro lado almacena información de contabilización del MS y provee el perfil del usuario, información que es llevada al PDSN.

Se mencionó con anterioridad que el MSC entre una de sus otras funciones se encuentra el de realizar el proceso de facturación, sin embargo en un sistema de 3G se puede implementar un componente adicional a la infraestructura de la Red Celular con el fin de brindar este servicio con características adicionales. El AAA lleva una contabilización de todos los Controladores de servicios, misma que se guarda en una base de datos. Esta información puede ser también utilizada para propósitos de monitoreo, auditoría de cuentas, y vigilancia para la prevención de servicios fraudulentos.

En síntesis, las funciones del AAA se centran en los siguientes puntos:

- Autenticación, Autorización y Contabilización para todos los tipos de servicio.
- Control de vigilancia para todos los tipos de servicio.
- Control de cuotas en tiempo real.

El servidor AAA ofrece distintas vías para ejecutar el proceso de tarificación. El AAA produce registros detallados de las llamadas realizadas conocidos como los CDR, los cuales son enviados hacia múltiples Sistemas de Tarificación. Por lo tanto, en varios casos, los operadores pueden utilizar sus propias plataformas de tarificación a partir de la información enviada por el AAA.

Debido a la flexibilidad del AAA, a cada usuario móvil le puede ser tarificado de manera distinta así mismo por el tipo de servicio o aplicación utilizada. La Fig 2.12 proporciona el esquema de cómo esto es logrado. Más adelante, en el Capítulo 4, se hablará detalladamente del proceso de tarificación y de las diferentes variantes de ésta.

²³*Source PCF/BS: La BS o el PCF que está a cargo del control de la llamada y dicha denominación será válida hasta el momento en que dicha entidad ya no tiene el control de la misma.*

²⁴*Target PCF/BS: La BS o el PCF que está a cargo de la conexión sin ser la “Source PCF/BS”.*

²⁵*PCN: Packet Core Network. Es el sistema de la red que contiene las funcionalidades de switcheo y proceso de movilidad otorgada al MS, ofreciendo capacidad para el manejo de paquete de datos.*

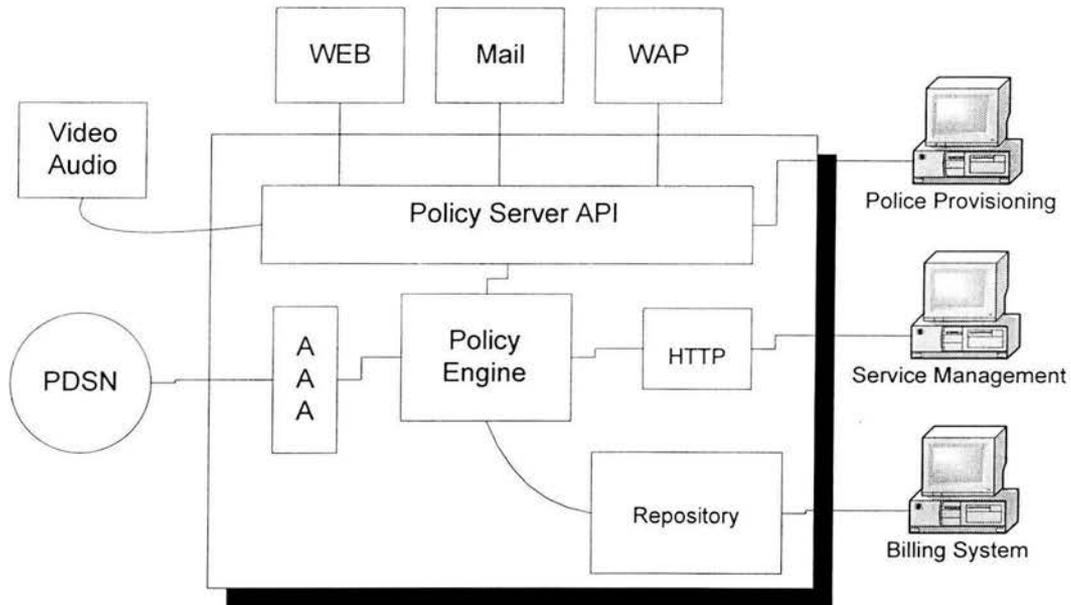


Fig. 2.12 AAA en CDMA2000 dentro de la PCN

Por último se indica que pueden existir variantes con respecto a la implementación en la Red Celular del AAA, dividiendo dicho componente en dos módulos: el AC (Authentication Center) y el EIR (Equipment Identity Register), en donde el primero desempeña la función de la elaboración de un registro del MS (autenticación) y actualización, mientras que el segundo guarda información necesaria para la prevención de servicios fraudulentos.

2.5 Otras entidades de red en CDMA2000 1x

2.5.1 AC

El AC (Authentication Center) se encarga de manejar la información de autenticación del MS. El AC puede funcionar con uno o más HLR.

2.5.2 CDCP

El CDCP (Call Data Collection Point) es la entidad encargada de recolectar la información de la llamada en el formato ANSI-124. (Véase ANSI²⁶).

2.5.3 CDGP

El CDGP (Call Data Generation Point) es la entidad que provee la información de la llamada al CDCP en el formato ANSI-124²⁷. Se encarga de convertir la información que viene en un formato propietario al formato ANSI-124.

²⁶ANSI : American National Standards Institute. Es un organismo de estandarización que define estándares tomando en consideración temas de la comunidad técnica. ANSI trabaja en colaboración con organizaciones tales como la ISO (International Standards Organization) y la IEEE (Institute of Electrical and Electronic Engineers).

²⁷ANSI-124: Estándar definido por ANSI para intercambio de información de una llamada.

2.5.4 *CDIS*

El CDIS (Call Data Information Source) es la entidad fuente donde se origina la información de la llamada. Esta información puede estar en formato propietario.

2.5.5 *CDRP*

El CDRP (Call Data Rating Point) es la entidad encargada de aplicar el “cargo” a la información de la llamada en el formato ANSI-124.

2.5.6 *CF*

El CF (Collection Function) es una entidad que se responsabiliza de recolectar comunicaciones que se interceptan para una agencia autorizada.

2.5.7 *CRDB*

El CRDB (Coordinate Routing Data Base) es una entidad que recolecta la información expresada en latitud y longitud y que la convierte en una cadena de dígitos.

2.5.8 *CSC*

El CSC (Customer Service Center) es una entidad donde representantes del proveedor o “Carrier” reciben llamadas de los usuarios deseando suscribirse al servicio o cambiarse a otro existente.

2.5.9 *DCE*

El DCE (Data Circuit Equipment) representa una terminación que provee una interfaz usuario-red tipo No ISDN.

2.5.10 *DF*

El DF (Delivery Function) es una entidad que se responsabiliza del envío de comunicaciones interceptadas a una o más funciones de recolección.

2.5.11 *ESME*

El ESME (Emergency Service Message Entity) es una entidad que se encarga de enrutar y procesar mensajes relacionados con llamadas de emergencia.

2.5.12 *ESNE*

Similar al ESME, el ESNE (Emergency Service Network Entity) es una entidad que se encarga de enrutar y procesar las llamadas de emergencia.

2.5.13 ISDN

ISDN (Integrated Services Digital Network) se encuentra definido en los estándares ANSI T1²⁸.

2.5.14 IP

El IP (Intelligent Peripheral) es una entidad que se encarga de ejecutar funciones de recursos tales como ejecución de conversiones voz-datos o datos-voz, grabación y almacenamiento de mensajes de voz, servicios de facsímile, servicios de datos, entre otros.

2.5.15 IAP

El IAP (Intercept Access Point) es una entidad que provee acceso hacia o desde los servicios de una conexión o llamada interceptada.

2.5.16 LPDE

El LPDE (Local Position Determining Entity) es una entidad que facilita la determinación de la posición o localización geográfica de una terminal inalámbrica.

2.5.17 MWNE

El MWNE (Managed Wireless Network Entity) es una entidad que contiene los OS para el sistema inalámbrico.

2.5.18 MC

El MC (Message Center) es una entidad que almacena y se encarga de enviar mensajes cortos (Short Messages). Asimismo provee servicios suplementarios como el SMS.

2.5.19 ME

El ME (Mobile Equipment) es el MS sin el UIM. (Véase más adelante UIM). El ME solo puede acceder a la red para servicios que fueron configurados localmente. (por ejemplo: servicios de emergencia).

2.5.20 MPC

El MPC (Mobile Position Center) selecciona al PDE para determinar la posición de un MS.

²⁸ANSI T1: Es el subcomité encargado de definir los estándares en el ámbito de las telecomunicaciones.

2.5.21 *MT0*

El MT0 (Mobile Terminal 0) es una terminación del ME que no soporta una interfaz externa.

2.5.22 *MT1*

El MT1 (Mobile Terminal 1) es una terminación del ME que provee una interfaz usuario-red ISDN.

2.5.23 *MT2*

El MT2 (Mobile Terminal 2) es una terminación del ME que provee una interfaz usuario-red No ISDN.

2.5.24 *NPDB*

El NPDB (Number Portability Data Base) es una entidad que provee información relacionada con el Directorio de Números Portátiles.

2.5.25 *OSF*

OSF (Operations Systems Function) es un conjunto de funciones tales como Element Management Layer (EML), Network Management Layer (NML), Service Management Layer (SML) y Business Management Layer (BML) que cubren con los sistemas de operación como Fault Management, Performance Management, Configuration Management, Accounting Management y Security Management.

2.5.26 *OTAF*

El OTAF (Over the Air Service Provisioning Function) es una entidad que hace interfaz con el CSC para soportar servicios de provisión.

2.5.27 *PDN*

El PDN (Packet Data Network) tal como el Internet, provee un mecanismo de transporte de paquetes de datos entre las Entidades de Red capaces de utilizar dichos servicios.

2.5.28 *PDE*

El PDE (Position Determining Entity) es la entidad que determina la posición o localización geográfica de un MS.

2.5.29 *PSTN*

El PSTN (Public Switched Telephone Network) se encuentra definido en los estándares ANSI T1.

2.5.30 *SCP*

El SCP (Service Control Point) es una entidad que actúa como una base de datos en tiempo real misma que provee un servicio de control.

2.5.31 *SN*

El SN (Service Node) es una entidad que provee servicio de control, servicio de datos, y control de llamadas.

2.5.32 *SME*

El SME (Short Message Entity) es una entidad que procesa sobre los mensajes cortos.

2.5.33 *TAm*

El TAm (Terminal Adapter m) es una entidad que convierte la información de señalización y la información del usuario entre una interfaz No ISDN y una ISDN.

2.5.34 *TE1*

El TE1 (Terminal Equipment 1) es una terminal que provee una interfaz usuario-red ISDN.

2.5.35 *TE2*

El TE2 (Terminal Equipment 2) es una terminal que provee una interfaz usuario-red No ISDN.

2.5.36 *UIM*

El UIM (User Identity Module) contiene la información de la suscripción del usuario. El UIM puede ser integrado a cualquier ME o puede ser removible.

2.5.37 *Vehicle*

Es una entidad en el cual el MS se puede instalar. Puede proporcionar la necesaria potencia, control y conexiones de la antena del MS.

2.5.38 VMS

El VMS (Voice Message System) es una entidad donde se almacenan mensajes de voz, mensajes de datos (e-mail) o ambos tipos de mensajes y soporta el método de salvar los mensajes anteriores.

2.5.39 WNE

El IWF como se observó, es la entidad que provee la conversión necesaria para uno o más WNE (Wireless Network Entities). De esta manera el IWF debe de disponer de una interfaz a un WNE para proveer los servicios de conversión.

2.6 Puntos de referencia para CDMA2000

El Punto de Referencia U_m es el único, que por definición, es una interfaz física. Como se mencionó anteriormente, los otros Puntos de Referencia son interfaces físicas solamente si las Entidades de Red en cualquier lado de ellas se encuentran en diferentes dispositivos físicos.

Una interfaz existe cuando dos Entidades de Red son interconectadas a través de un Punto de Referencia únicamente.

2.6.1 Punto de Referencia A

Se establece entre el BSC y el MSC. Implementado por las interfaces A1, A2, A5.

2.6.2 Punto de Referencia A_i

Se establece entre el IP y el PSTN, más el vínculo entre el MSC y el PSTN, aunado con el vínculo entre el SN y el PSTN.

2.6.3 Punto de Referencia A_{bis}

Se establece entre el BSC y el BTS.

2.6.4 Punto de Referencia A_{ter}

Se establece entre BS y BS. Implementado por las interfaces A3 y A7.

2.6.5 Punto de Referencia A_{quater}

Se establece entre el PDSN y el PCF. Implementado por las interfaces A10 y A11.

2.6.6 Punto de Referencia $A_{quinter}$

Se establece entre el PCF y el BSC. Implementado por las interfaces A8 y A9.

Cabe mencionar que existen otros Puntos de Referencia (en total existen 65 para CDMA2000) que se definen a partir de las Entidades de Red antes descritas, sin embargo, por cuestiones de ejemplificación solo se describieron los anteriores.

2.7 Interfaces definidas para CDMA2000 1x

- A1: La interfaz A1 transporta información de señalización entre las funciones de Control de Llamadas (CC) y Manejo de Movilidad (MM) del MSC y del Controlador del BS (BSC).
- A2: La interfaz A2 transporta información modulada en PCM (64/46 kbps) o 64 kbps para UDI (Unrestricted Digital Information – ISDN) entre el switch del MSC y la Unidad de Selección y Distribución (SDU²⁹) de la BS. UDI define los frames necesarios para llevar a cabo la interconexión con la Red ISDN.
- A3: La interfaz A3 transporta información de usuario codificada (voz/datos) e información de señalización entre el SDU de la BS y la entidad del canal del BTS de la “Target BS”. La interfaz A3 esta compuesta de dos partes: señalización y tráfico del usuario. La información de señalización es transportada en un canal lógico por separado del canal de tráfico del usuario y controla el alojamiento así como el uso de los canales de transporte del tráfico.
- A5: La interfaz A5 transporta un stream de bytes “full-dúplex” entre el MSC y el SDU de la BSC.
- A7: La interfaz A7 transporta información de señalización entre una BS fuente y una “Target BS”.
- A8: La interfaz A8 transporta el tránsito de datos del usuario entre la BS y el PCF.

²⁹**SDU:** Selection Distribution Unit. Conjunto de funciones residentes en la BS.

1. Manejador de Tráfico: Intercambio de bits de tráfico con el vocoder asociado o con la funcionalidad RLP (protocolo que provee la técnica de “Mejor Esfuerzo” para el soporte en la integridad de paquete de datos). El manejador puede ser conectado directamente con la interfaz A5.

2. Señalización de la Capa 2: Desempeña la funcionalidad de la Capa 2 sobre el protocolo de señalización de la interfaz de aire. Es responsable de la entrega confiable de los mensajes de señalización de la Capa 3 entre la BS y el MS.

3. Subcapa de Multiplexación: Multiplexa y demultiplexa la información del usuario e información de señalización de la interfaz de aire.

4. Control de Potencia: Administra el control de Potencia tanto en el Forward Link como en el Reverse Link.

5. Selección y Distribución de Frames: Responsable por seleccionar el mejor frame proveniente de la interfaz de aire del Reverse Link de los canales que son envueltos en el Soft Handoff. Distribuye los frames del Forward Link sobre la interfaz de aire a todos los canales envueltos en una llamada.

6. Manejador del Backhaul Frame: Demultiplexa la información de control y el frame recibido del Reverse Link a partir del frame recibido sobre el Backhaul Network. Asimismo multiplexa la información de control y los frames que se transportan sobre la interfaz de aire en el Downlink.

7. Funcion de Control: Provee funciones de control.

8. Manejador de frames Intra-BS: Intercambia frames del backhaul con los canales que son envueltos en un “Intra-BS Soft HandOff”.

- A9: La interfaz A9 transporta la información de señalización entre el BS y el PCF.
- A10: La interfaz A10 transporta el tránsito de datos del usuario entre el PCF y el PDSN.
- A11: La interfaz A11 transporta información de señalización entre el PCF y el PDSN.

Las interfaces A1, A2, A3, A5 Y A7 están basadas en el uso de:

1. Enlaces T1 con una tasa cada uno de 1.544 Mbps proporcionando 24 canales x 56 kbps o 24 canales x 64 kbps, los cuales pueden ser usados para información de tráfico o señalización dependiendo de la decisión del proveedor de servicios.
2. Enlaces E1³⁰ consistiendo 30 canales x 64 kbps y utilizados para el envío de información de tráfico o señalización dependiendo de la decisión del proveedor de servicios. Como una opción para la interconexión entre el MSC y el BS se pueden utilizar enlaces dedicados DS0 en lugar de la interfaz T1/E1.
3. Enlaces T3³¹ soportando tasas de transmisión alrededor de los 43,232 Mbps.
4. Transmisiones OC3³² soportando tasas de transmisión alrededor de los 155.52 Mbps.

Las interfaces de A8 a A11 están basadas en el uso de IP (Internet Protocol).

2.8 Planos funcionales MSC-BS en CDMA2000 1x

La Fig. 2.13 que se ilustra a continuación establece el modelo de los planos funcionales de la interfaz MSC-BS en CDMA2000 1x. Los cuatro planos cubren todas las funciones que dicha interfaz soporta.

³⁰E1: Estándar europeo para la transmisión de 31 Canales de Tráfico de 64 kbps a una tasa de 2.048 Mbps.

³¹T3: Estándar americano equivalente a 28 líneas T1 a una tasa de 45 Mbps.

³²OC3: Portadora óptica que transporta información a una tasa de 155 Mbps.

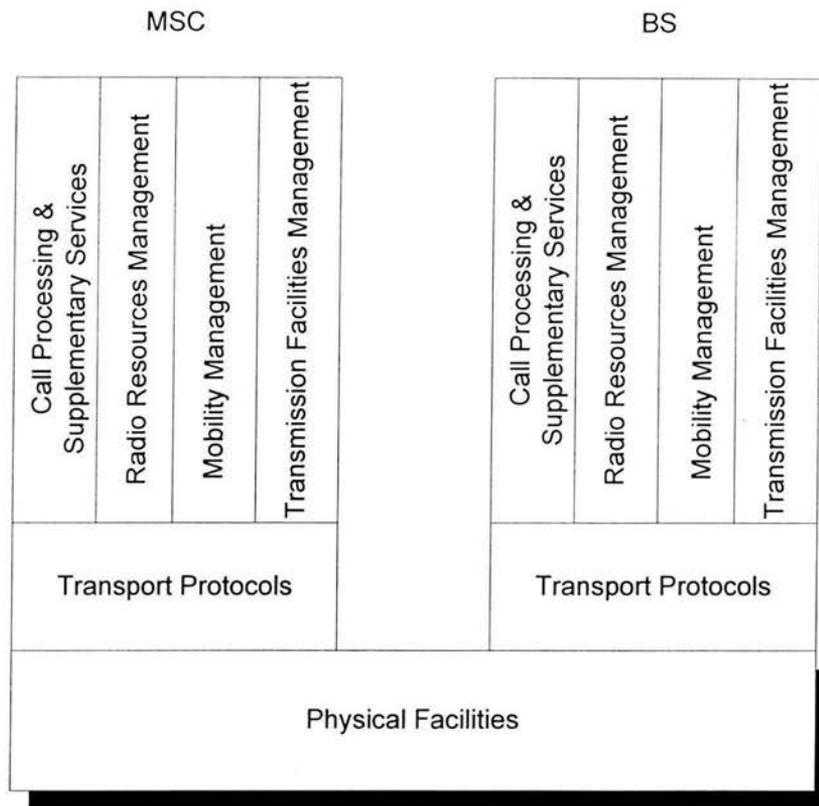


Fig. 2.13 Planos Funcionales MSC-BS en CDMA2000

El plano relacionado con “Transmission Facilities Management” es la base para los servicios de telecomunicaciones en la interfaz MSC-BS. Se encarga del control de los medios de transmisión para las necesidades de la comunicación de los usuarios así como la transferencia de la información requerida entre la BS y el MSC. El plano llamado “Radio Resource Management” maneja el establecimiento de enlaces entre los MS y el MSC así como el soporte del movimiento de los usuarios durante las llamadas (por ejemplo: control del “Handoff”). El plano conocido como “Mobility Management” controla la información relacionada con la localidad actual del usuario. Por último el plano de “Call Processing and Supplementary Services” se encarga del control de la conexión o llamada así como la proporción de servicios de telecomunicaciones para los usuarios.

Capítulo 3

Descripción de la Capa Física en estándares CDMA

3.1 Conceptos básicos para técnicas de “Spread Spectrum”

En los sistemas CDMA (cdmaOne[®] y CDMA2000) se convierte la señal analógica (señal de voz) en una señal digital para su posterior transmisión. En cada etapa la señal va adoptando diferentes términos y significados, para llegar finalmente al punto en donde la señal se transmitirá sobre la interfaz de aire. Entre dichos conceptos se encuentran los siguientes:

- **El Bit**

El Bit es la unidad fundamental de información. La información analógica es codificada en una secuencia de dígitos binarios gracias a la conversión analógica digital. Tanto la información del usuario como los dígitos correspondientes a la detección de errores se les considera bits, tal como se puede observar en la Fig 3.1. El “Bit Rate” es una medida del volumen de información transmitido por unidad de tiempo expresado en bits por segundo (bps).

- **Code Symbol**

En los sistemas CDMA un símbolo es el resultado del proceso de corrección de errores (FEC). Cada bit produce varios símbolos de código. La tasa de los símbolos o el “Symbol Rate” es una medida de la redundancia introducida por el esquema FEC. Cada símbolo es también un dígito binario.

- **Chip**

Los dígitos de salida de un generador de espectro disperso o “Spreader” son llamados chips. Cada chip es también un dígito binario. Varios chips son usados para “esparcir” un único “Code Symbol”. El “Chip Rate” es una medida de la cantidad de “Spreading¹” realizado. Lo que distingue entre un bit, un símbolo y un chip es su relación que tienen con la señal de información.

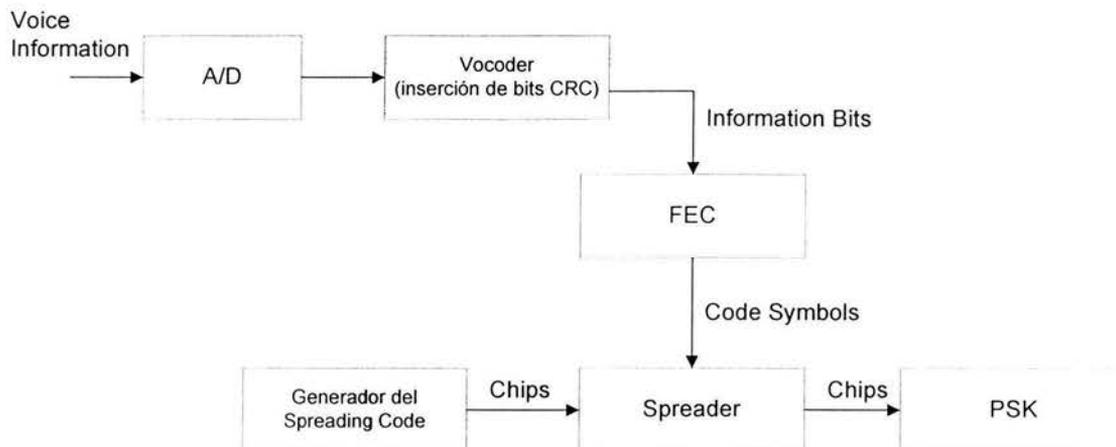


Fig 3.1 Esquematización de codificación y modulación en el sistema CDMA

¹**Spreading:** Proceso o técnica por el cual una señal es “esparcida” sobre una ancha banda de frecuencias como una medida de encriptación de la misma señal.

Habiendo definido los conceptos que se utilizan para explicar la generación de los canales para un sistema CDMA, se analizará la manipulación de los códigos que se utilizan en dicho sistema.

De esta manera, se verá el esquema de correlación y la función desempeñada sobre las señales binarias que son utilizadas para la comunicación entre el MS y la RBS.

La correlación es una medida de similaridad entre dos señales arbitrarias. Es calculada multiplicando las dos señales y después integrar el resultado sobre un lapso de tiempo. Las dos señales de la Fig. 3.2 (a) son idénticas y por lo tanto su correlación es de 1 o 100%. En la Fig. 3.2 (b), las dos señales no están correlacionadas y por lo tanto conociendo a una de ellas no se provee ninguna información acerca de la otra señal. De esta manera, el valor de la correlación nos brindará información acerca de la ortogonalidad de las señales en cuestión.

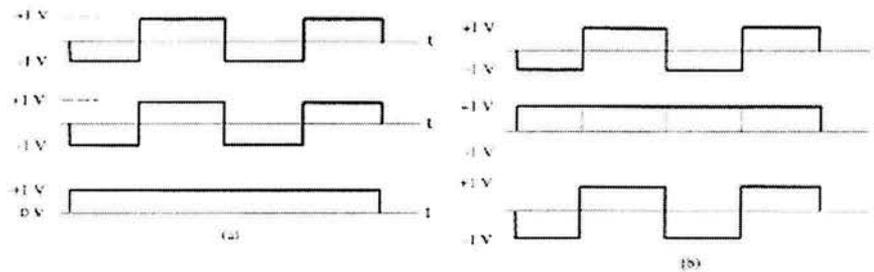


Fig. 3.2 a) Señales idénticas con correlación unitaria (b) Correlación distinta a la unitaria

Podemos hablar de que existe una ortogonalidad, cuando las funciones tienen correlación cero, analíticamente esto se comprueba si al realizar el proceso de XOR sobre estas dos secuencias binarias se obtiene como resultado un número igual de unos que de ceros, tal como se observa en el Ej 3.3.

$$0000 \oplus 0101 = 0101$$

Ej 3.3 Dos secuencias binarias ortogonales

Haciendo referencia sobre secuencias binarias ortogonales, es importante mencionar sobre la importancia que tienen en los sistemas CDMA, que para el caso de cdmaOne[®] tienen una longitud de 64 chips y en el caso de CDMA2000 1x son de 128 chips. A estas secuencias se les llama “Walsh Codes”.

Los “Walsh Codes” son usados en el Forward CDMA Link para separar y distinguir a los usuarios móviles. En cada determinado sector, cada canal correspondiente al

Forward Link (Forward Code Channel) le es asignado un distinto “Walsh Code”. En el caso del sistema cdmaOne[®], para el Reverse CDMA Link, las 64 secuencias son usados para propósitos de señalización establecidos por el Modulador de Bandabase Ortogonal (Baseband Orthogonal Modulator). Más adelante se especificarán a más detalle las funciones de los “Walsh Codes” para cada uno de los canales tanto en el Forward Link como en el Reverse Link, en sistemas cdmaOne[®] y CDMA2000 1x para fines de comparación.

3.1.1 Orthogonal Spreading

El principio básico del “Spreading” y del “Despreading²” se basa en el hecho de cuando un símbolo es operado bajo la operación XOR con una secuencia conocida y el resultado es nuevamente introducido a la operación XOR con la misma secuencia utilizada, se recobra el símbolo original. En otras palabras, el efecto de utilizar doblemente la operación XOR haciendo uso de la misma secuencia es nulo. En el “Spreading” ortogonal, cada símbolo codificado es introducido a la operación XOR con todos los 64 chips del “Walsh Code”. En la Fig. 3.4, un símbolo de valor 1 opera con el Walsh Code 59 (W₅₉) bajo el concepto mencionado.

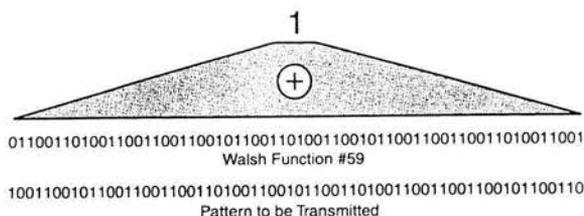


Fig 3.4 Orthogonal Spreading

En el “Spreading”, cada símbolo es sometido a la operación XOR con todos los chips de la secuencia ortogonal (Walsh Code) que le fue asignado al usuario. La secuencia resultante es procesada y es transmitida sobre un Canal Físico (Physical Channel) junto con otros símbolos esparcidos. En la Fig. 3.5, un código de 4 dígitos es utilizado. El resultado que se da entre la secuencia de entrada (User Input) y la secuencia ortogonal (Walsh Code) es una secuencia de dígitos que deben ser transmitidos a una tasa cuatro veces mayor en comparación con la señal binaria codificada del usuario.

²**Despreading:** Proceso o técnica en donde se recupera la señal que fue esparcida sobre una banda ancha de frecuencias.

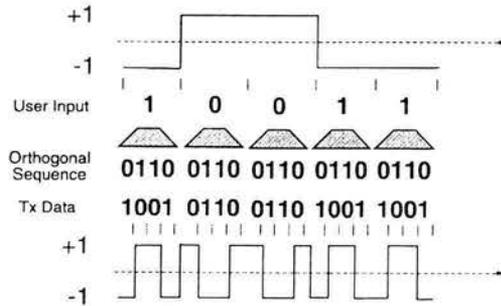


Fig 3.5 Canalización utilizando Orthogonal Spreading.

El receptor realiza el proceso de “Despreading” de los chips utilizando el mismo “Walsh Code” utilizado para la transmisión (Véase Fig. 3.6). Hay que notar que, bajo condiciones sin ruido, los símbolos son dígitos que son completamente recuperados sin ningún error. En realidad, cada canal no es libre del efecto de ruido, sin embargo los sistemas cdmaOne® y CDMA2000 1x utilizan técnicas de corrección de errores (FEC o Forward Error Correction) con el efecto de eliminar el ruido y mejorar el desempeño del sistema.

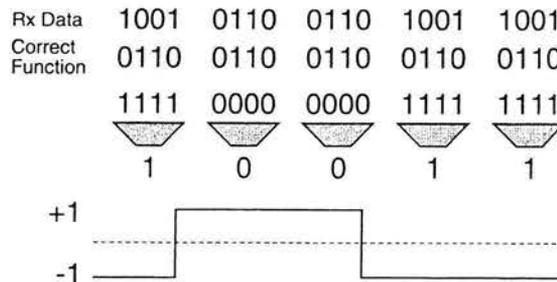


Fig 3.6 Recuperación de los “Símbolos Esparcidos”

Cuando se utiliza una secuencia ortogonal errónea para propósitos del “Despreading”, es imposible recuperar el patrón original de la transmisión (Véase Fig. 3.7). Esta es una clara demostración sobre la ventaja de la propiedad de la ortogonalidad de los “Walsh Codes” así como el efecto XOR al utilizarlo en una segunda ocasión mediante la misma secuencia. De este hecho se desprende que cuando secuencias incorrectas son utilizadas por usuarios ajenos con el fin de decodificar la señal recibida, no podrán determinar la secuencia original.

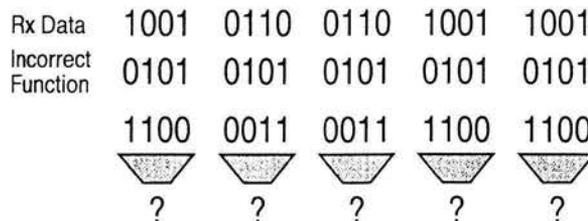


Fig 3.7 Recuperación de los “Símbolos Esparcidos” utilizando la función incorrecta

3.1.2 PN Codes (Pseudo Random Noise Codes)

Otros tipos de códigos utilizados en los sistemas CDMA son los denominados “PN Codes”. Éstos se generan con el fin de realizar un “scrambling³” en los sistemas y son utilizados también para fines de modulación “Spread Spectrum” o técnicas de espectro disperso. El “scrambling” es logrado a partir de ir cambiando la secuencia de datos de entrada de manera pseudoaleatoria antes de que ésta sea transmitida. En el receptor, la secuencia que fue esparcida es regresada a la secuencia original. Este concepto denominado “pseudo-aleatorio” es importante conocerlo, para comprender el funcionamiento de un sistema CDMA. Si la secuencia generada es totalmente aleatoria, entonces el receptor no tendría manera de regresar a la secuencia original.

Los “PN Codes” son secuencias de estados binarios generados por compuertas XOR y “shift-registers”, en retroalimentación, que son usados para representar un patrón pseudoaleatorio, los cuales tienen como fin el realizar una comparación de bits cuando la secuencia de datos haya llegado al sistema receptor. La secuencia de salida de un “PN Code” de longitud N tiene relación con el número de “shift-registers” r . Esta relación está dada por $N = 2^r - 1$. De esta manera si un generador de un “PN Code” consta de tres “shift-registers”, su salida será una secuencia de 7 dígitos binarios.

3.1.2.1 Offsets en PN Codes (Masking)

El proceso de enmascaramiento conocido como “Masking” causa que el generador del “PN Code” produzca la misma secuencia de bits pero con un offset o determinado “recorrimiento” en el tiempo. Por lo tanto, diferentes máscaras aplicadas a los “Short Codes” y a los “Long Codes” corresponden a diferentes offsets en tiempo. En sistemas cdmaOne[®], los ESN (Electronic Serial Numbers) son usados como máscaras en los Canales de Tráfico. El propósito de incursionar offsets en los “PN Codes” para la generación de los Canales del Forward Link radica en el hecho de poder diferenciar a los sectores de las RBS para fines de comunicación con los MS. Cada RBS utiliza un diferente offset (de los 512 posibles en cdmaOne[®]) con el fin de poder identificar al sector de la RBS.

Un “PN Code” se clasifica en dos categorías: “Long Codes” y “Short Codes”.

3.1.2.2 Long Codes

Es aquel “PN Code” con un periodo de $2^{42} - 1$ chips utilizado en el sistema CDMA a una tasa de 1.2288 Mcps. Su nombre se debe a que su periodo es mayor en magnitud que el periodo de la Señal Piloto o de los “Short Codes” los cuales son de 2^{15} chips (32 768 chips). A una tasa de 1.2288 Mcps el periodo de la Señal Piloto (Short Code) es de 26.67 ms (75 periodos por cada 2 segundos).

Los “Long Codes” son utilizados para proveer varios procesos de carácter aleatorio tales como proveer chips para privacidad realizando un “scrambling” en la secuencia de datos tanto en el Forward Link como en el Reverse Link, fines de identificación del MS y de los Canales de Acceso (Access Channels) en el Reverse Link utilizando offsets para cada entidad.

³**Scrambling:** Proceso que consiste la permutación en el orden de los símbolos con el fin de mejorar la técnica de corrección de errores (FEC).

El periodo de $2^{42} - 1$ equivale a 4.398×10^{12} chips. A una tasa de 1.2288 Mcps, el “Long Code” se repite cada 41.425 días. Este código es producido por un generador que consta de 42 etapas de un “shift-register” lineal, con la salida de la etapa 42 como entrada de la primera etapa.

3.1.2.3 Short Codes

En realidad, consistuyen un par de códigos (denominados como I y Q), a partir de los cuales se crean offsets únicos que sirven como identificadores para un Sector Celular. Sin embargo, en el sistema cdmaOne[®], tanto para los “Access Channels” como para los “Traffic Channels” no se recurre a la utilización de los offsets. Un “Short Code” es un código con una longitud de 32 768 chips con un periodo de 27 ms a una tasa de reloj de 1.2288 Mcps. Los “Short Codes” son utilizados para realizar el “quadrature spreading” o modulación en cuadratura para los Canales del Forward Link, es decir, cada “Short Code” actúa sobre cada canal (I o Q) para realizar el proceso de “Spreading” sobre la secuencia de datos codificada.

3.2 Módulos del sistema CDMA empleados en la codificación de los Canales del Forward Link y Reverse Link

▪ Convolutional Encoder

En un sistema de comunicaciones digitales, es necesario que el transmisor disponga de un codificador convolucional cuya función será que, a partir de una cadena de bits de entrada en donde cada bit se represente como m_i , se tenga a la salida del codificador un “Code Symbol”, mismo que fue definido anteriormente.

Varios “Code Symbols” forman en conjunto una secuencia llamada “Code Word”. Para cdmaOne[®] se utilizan “Code Rates” de $\frac{k}{n} = \frac{1}{2}$ y $\frac{k}{n} = \frac{3}{4}$ (siendo Rate Set 1 y Rate Set 2, respectivamente) en donde n es el número de sumadores que operan sobre los bits de la secuencia de entrada que son recorridos en tiempos discretos t_i sobre las localidades del codificador. Existe otro parámetro denominado como el “constraint length” o K el cual determina el número de etapas del “shift-register” de k localidades cada una. Finalmente a k , se le conoce como el número de bits que son “cargados” en el codificador a un determinado instante t_i .

En la Fig. 3.8 se ilustra la operación de un codificador convolucional funcionando a una tasa $\frac{k}{n}$ con un “constraint length” K . Definiremos como $U = (u_1, u_2, \dots, u_i, \dots)$ a la secuencia de entrada que es cargada en el decodificador, con k bits en un determinado instante de tiempo t_i . Para dichos k bits, un símbolo n es generado para conformar, en conjunto con otros símbolos, la secuencia denominada “Code Word” $V = (u_1, u_2, \dots, v_n)$ la cual es el producto de la salida del codificador.

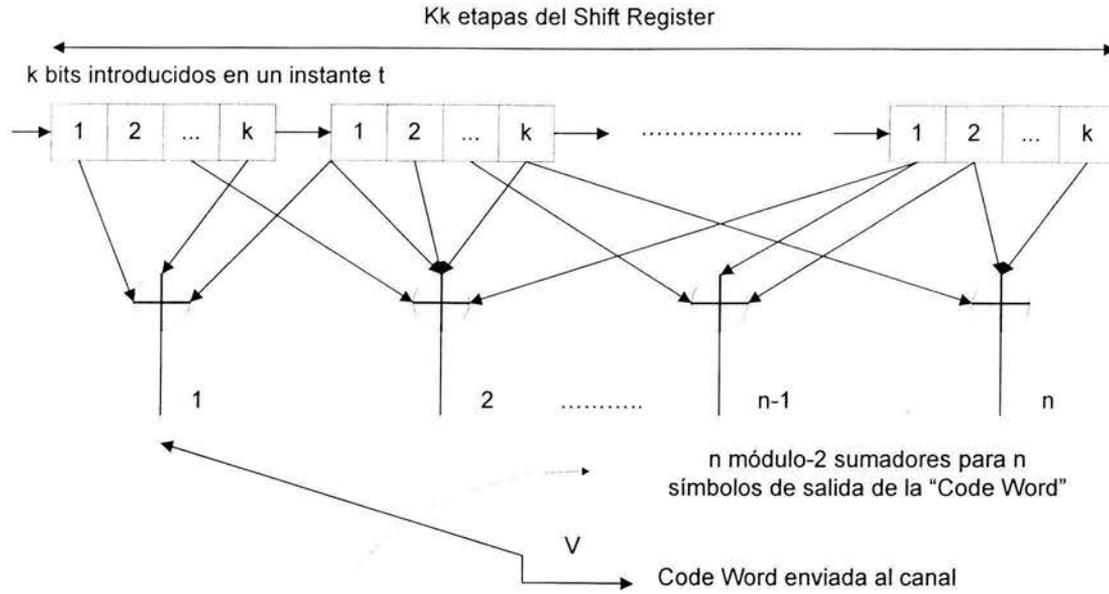


Fig. 3.8 Codificador convolucional de tasa k/n con "constraint length" K :
 $U=(u_1, u_2, \dots, u_i, \dots)$ es la secuencia de entrada y la salida la constituye la "Code Word"
 $V=(v_1, v_2, \dots, v_n)$

En una observación más detallada de la Fig. 3.8, podemos aclarar, que el primer registro no es prescindible, y por lo tanto el número de las etapas es $Kk - 1$ en vez de Kk , como resultado de la eliminación de dicho registro innecesario. (Véase Fig. 3.9).

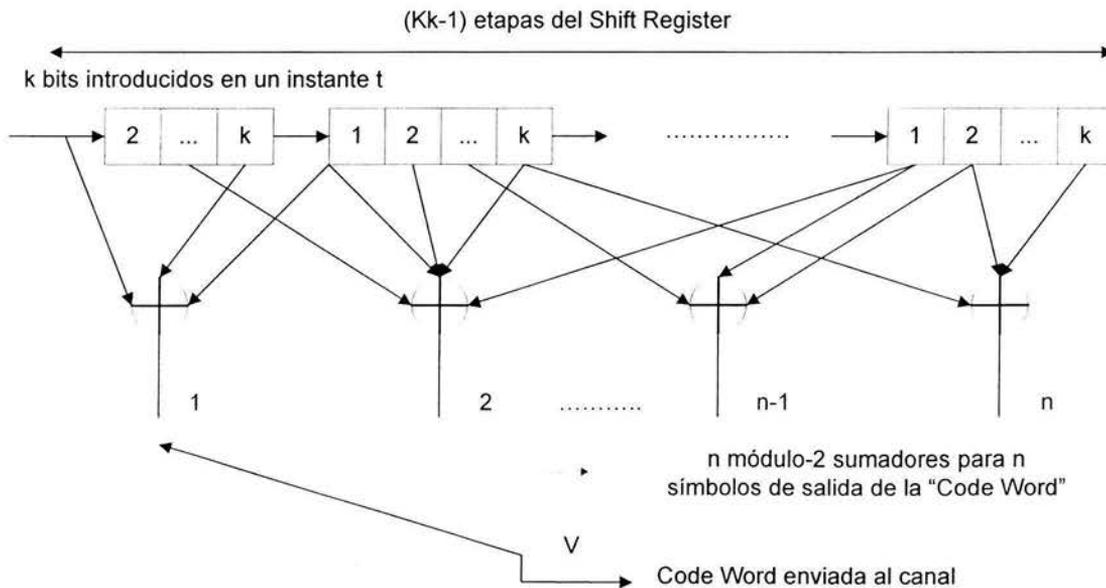


Fig 3.9 Codificador convolucional de tasa k/n con "constraint length" K , utilizando $Kk - 1$ etapas del "shift-register": $U=(u_1, u_2, \dots, u_i, \dots)$ es la secuencia de entrada y la salida la constituye la "Code Word" $V=(v_1, v_2, \dots, v_n)$

Es necesario mencionar, que el “Code Word” generado no solamente depende de los k bits ingresados en el codificador sino también los $K-1$ k -ésimos que previamente se “cargaron”. Debido a esta razón, se dice que los codificadores convolucionales disponen de “memoria”. Los n símbolos codificados son producidos por cada mensaje de k bits que son ingresados al codificador, y por lo tanto, la tasa es $\frac{k}{n}$, significando que k bits son ingresados del bloque y que n bits son egresados en un mismo intervalo de tiempo.

- **Symbol Repetition**

En los sistemas CDMA (cdmaOne[®] y CDMA2000 1x) es el proceso el cual ayuda mantener una tasa constante de símbolos (*symbps*) a la salida del codificador convolucional sin importar la tasa a la cual opere el codificador. Los símbolos son repetidos como un resultado de la baja tasa de los frames que salen de éste.

- **Interleaver**

Generalmente se utiliza en los sistemas CDMA con la función de realizar un mezclado de símbolos. El efecto de “fast fading⁴” producido por multitrayectorias pueden causar errores tipo ráfaga. El propósito del “Interleaver” es diversificar en tiempo la localización de dichos errores.

Con un buen diseño del entrelazador se consigue que la distribución de los errores obedezca a un patrón aleatorio por lo que se vuelve más fácil la corrección de éstos mediante técnicas de codificación.

El “Interleaver” es ubicado entre el codificador convolucional y el modulador de un sistema CDMA, y como elemento de Hardware es un dispositivo que actúa como “Scrambler” que permuta el orden de los símbolos que son enviados sobre el canal de comunicaciones.

Las técnicas más empleadas para lograr este proceso de “Interleaving” caen en dos clases. El tipo más común es el “Block Interleaving”, el cual es una forma que actúa bajo datos que están divididos en bloques o frames tales como en el sistema IS-95 o CDMA2000 1x. Por otro lado el “Convolutional Interleaving” es más práctico para una secuencia de datos continua. El “Block Interleaving” es muy realizable en la práctica debido a su fácil implementación mientras que el “Convolutional Interleaving” tiene ventajas en su desempeño.

Diversos parámetros son los que describen el desempeño del “Interleaver”. Uno de los más importantes es la mínima separación S , parámetro que determina la mínima distancia entre errores consecutivos dentro de una ráfaga (burst). Este parámetro depende de la longitud del burst, decrementándose si aquella va incrementándose.

⁴**Fading:** Fenómeno causado por el arribo de multitrayectorias de la señal transmitida a la entrada del receptor provocando la variación de la intensidad y nivel de la misma debido a las interferencias destructivas causadas por las distintas fases de las multitrayectorias. Se clasifica de acuerdo a la distribución que obedece el fenómeno (Rayleigh, Rice, log-normal, etc).

Como un extremo, considérese cuando la longitud del burst es el mismo que toda la secuencia. La mínima separación sería uno ya que no importa como los datos son permutados, un error siempre reside junto con otro error. Debido a que el “Interleaving” proporciona un almacenamiento de los símbolos en memoria mientras se hace lectura de otros símbolos, un retardo siempre es experimentado. Este término esta expresado como el número adicional de operaciones de lectura/escritura requeridas para desempeñar el “Interleaving” como el “Deinterleaving”. El proceso requiere de un número de elementos de memoria para llevar acabo la función de lectura/escritura. Este proceso se denota con el parámetro M .

Para obtener un buen desempeño del “Interleaver”, el valor de S tiene que ser grande mientras que el retardo o los requerimientos de memoria tienen que ser pequeños.

Analíticamente esto se obtiene a partir de las razones $\frac{S}{M}$ y $\frac{S}{D}$.

Un “Block Interleaver” con parámetros I, J puede ser visto como un arreglo de localidades de almacenamiento el cual contiene I columnas y J renglones. Los datos son escritos en columnas y son leídos en renglones con se demuestra en la Fig. 3.10

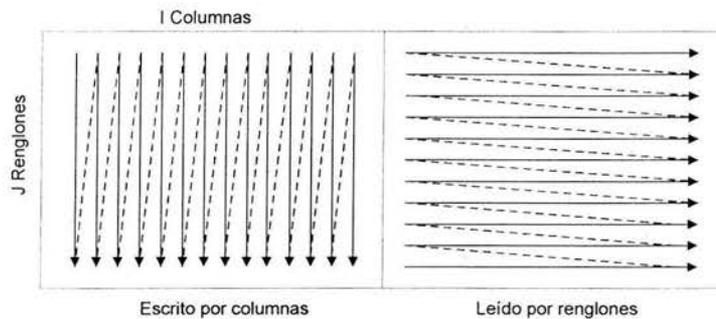


Fig 3.10 Proceso de lectura/escritura de un “Block Interleaver” con parámetros (I, J)

El primer símbolo es escrito en el arreglo en la esquina superior izquierda mientras que el primer símbolo es leído en la esquina inferior izquierda. El procesamiento continuo de datos requiere de dos arreglos: uno para que sea escrito y otro para que sea leído. El proceso de “Deinterleaving” requiere de arreglos duplicados con el fin de realizar el proceso inverso que el “Interleaving”.

Las propiedades del “Block Interleaver” resultan evidentes cuando es observado el arreglo. Si definimos a la longitud del burst como B , la mínima separación S queda definida como:

$$S = J; B \leq I$$

$$S = 1; B > I$$

El retardo introducido es IJ en el transmisor e IJ al receptor. Por lo tanto, el retardo total es:

$$D = 2 \cdot I \cdot J$$

Para una operación continua, dos arreglos son requeridos, dando un requerimiento de memoria M :

$$M = 2 \cdot I \cdot J$$

▪ **Codificador Viterbi**

El algoritmo de decodificación Viterbi fue descubierto y analizado por Viterbi en 1967, y se implementa en sistemas modernos de comunicaciones tales como IS-95 y Tercera Generación con el fin de optimizar el proceso de codificación, es decir, es una mejora realizada hacia los códigos convolucionales. El algoritmo de Viterbi esencialmente se desempeña con la máxima probabilidad en decodificación, reduciendo al máximo la carga del cálculo y tomando ventaja de la estructura que encierran los “Code Trellis⁵”.

La ventaja de la decodificación Viterbi comparada con la decodificación por “brute-force” es que la complejidad de la decodificación Viterbi no es una función del número de símbolos en la secuencia de las palabras de bits. El algoritmo calcula una medida de similaridad o distancia entre la señal recibida en el tiempo t_i , y todas las trayectorias “Trellis” que entran a cada estado en el tiempo t_i . El algoritmo desecha aquellas trayectorias “Trellis” que no pueden ser candidatas por elección de la máxima probabilidad. Cuando dos trayectorias entran al mismo estado, solo se escoge la que tiene menor distancia.

▪ **Turbo Coding**

La mayoría de los sistemas inalámbricos utilizan codificación de canal para reducir el Bit Error Rate (BER). El “Turbo Coding” es una variante de la codificación convolucional, siendo un intermediario entre éste y el “Block Coding”. El “Turbo Coding” requiere como el “Block Code”, que todo un mensaje constituido en un bloque este presente antes de que la codificación pueda empezar, sin embargo, se requieren de los “shift-registers” tales como los códigos convolucionales.

Tres diferentes arreglos de “Turbo Codes” son conocidos: los PCCC⁶ (Parallel Concatenated Convolutional Codes), los SCCC⁷ (Serial Concatenated Convolutional Codes), y los HCCC⁸ (Hybrid Concatenated Convolutional Codes). Generalmente para su implementación se recurren a los primeros. Un ejemplo se muestra en la siguiente Fig. 3.11.

⁵**Code Trellis** : Es una representación gráfica de un código convolucional, en donde cada trayectoria representa un “Code Word”. La representación mediante códigos Trellis fueron primero introducidos e implementados en códigos convolucionales con el fin de mejorar el control de errores en un Sistema de Comunicaciones Digitales.

⁶**PCCC**: Parallel Concatenated Convolutional Code. Arreglo o esquema constituido por dos codificadores convolucionales enlazados por un Interleaver.

⁷**SCCC**: Serial Concatenated Convolutional Code. Arreglo o esquema constituido por dos codificadores convolucionales concatenados de forma paralela y recursivos, separados por un entrelazador. Los codificadores constituyentes en este esquema son puestos en una concatenación serial.

⁸**HCCC**: Hybrid Concatenated Convolutional Code. Arreglo o esquema que consiste en la combinación de la concatenación serial y paralela para optimización en el funcionamiento de los Turbo Encoders.

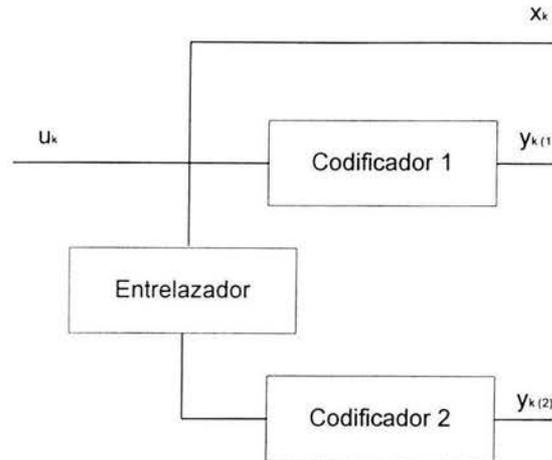


Fig 3.11 Turbo Encoder

Los “Turbo Codes” son los códigos más prácticos debido a su desempeño a una relación $\frac{S}{R}$ pequeña. Una razón de su mejor desempeño es porque los “Turbo Encoders” son capaces de producir “Code Words” conformadas por un número grande de bits en las secuencias conocidas como “High Weight Code Words”. Por ejemplo a partir de la Fig. 3.11 si la secuencia de entrada u_k es originalmente una secuencia de un número reducido de bits denominada como “Low Weight”, la salida sistemática x_k y la salida $y_k^{(1)}$ producen una “Code Word” o secuencia codificada con un número reducido de bits en la secuencia (Low Weight Code Word). Sin embargo, si la salida de $y_k^{(2)}$ no produce una “Low Weight Code Word” es debido a que le antecede un entrelazador. El “Interleaver” mezcla la secuencia de entrada, u_k , de tal manera que cuando se introduce un segundo codificador, produce un “High Weight Code Word”. Esto es ideal, ya que al contar con “High Weight Code Words” se tiene como resultado una mejor decodificación.

Aunque el codificador determina la capacidad para el FEC, es el decodificador quien determina el desempeño en sí del sistema. Sin embargo, dicho desempeño depende en el algoritmo usado, debido a que el “Turbo Decoding” es un proceso iterativo, éste requiere de un “Maximum a posteriori algorithm” (MAP⁹) o el “Soft Output Viterbi Algorithm” (SOVA¹⁰) para la decodificación. Se escogen estos tipos de algoritmos debido a la información que proporcionan sobre la secuencia de bits leídos en vez de realizar una decisión más tajante sobre un estado binario, concepto conocido como "Hard Output". Un decodificador típico se muestra en la siguiente Fig. 3.12.

⁹**MAP:** Maximum a posteriori algorithm. Es un algoritmo en donde se minimiza la probabilidad de obtener un error sobre un bit o símbolo en el momento de la decodificación (Turbo Codes). Es una manera de optimizar los algoritmos APP en donde se mide la probabilidad de obtener una decisión correcta.

¹⁰**SOVA:** Soft Output Viterbi Algorithm. Es un algoritmo cuya función es similar que el MAP, que reside en ser un medio de decodificación para los Turbo Codes. Opera bajo la selección de trayectorias mediante trellis.

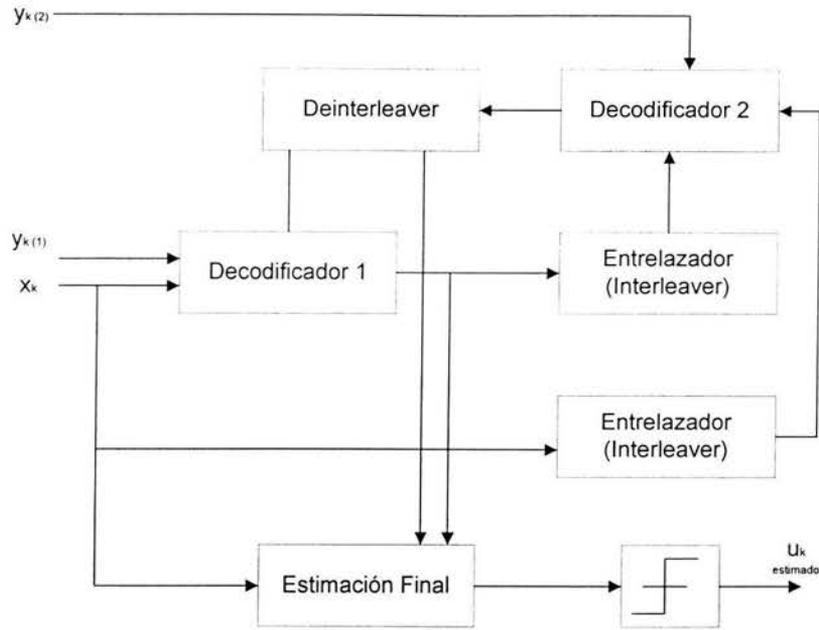


Fig. 3.12 Turbo Decoder

Un “Turbo Decoder” generalmente utiliza el algoritmo MAP como mínimo en uno de sus decodificadores.

El proceso de decodificación empieza recibiendo información parcial de los canales x_k y y_{k1} , pasándola hacia el primer decodificador. El resto de la información, perteneciente a y_{k2} , pasa al segundo decodificador y espera por el resto de la información para que se capture. Mientras el segundo decodificador está esperando al primer decodificador utiliza una estimación de la información transmitida, la entrelaza para coincidir el formato de y_{k2} y la envía hacia el segundo decodificador.

El segundo decodificador toma la información de ambos, del primer decodificador y del canal y realiza un nuevo cálculo de la información. La segunda estimación se enlaza de retorno hacia el primer codificador donde el proceso empieza de nuevo. El proceso iterativo del “Turbo Decoder” es mostrado en la Fig. 3.13.

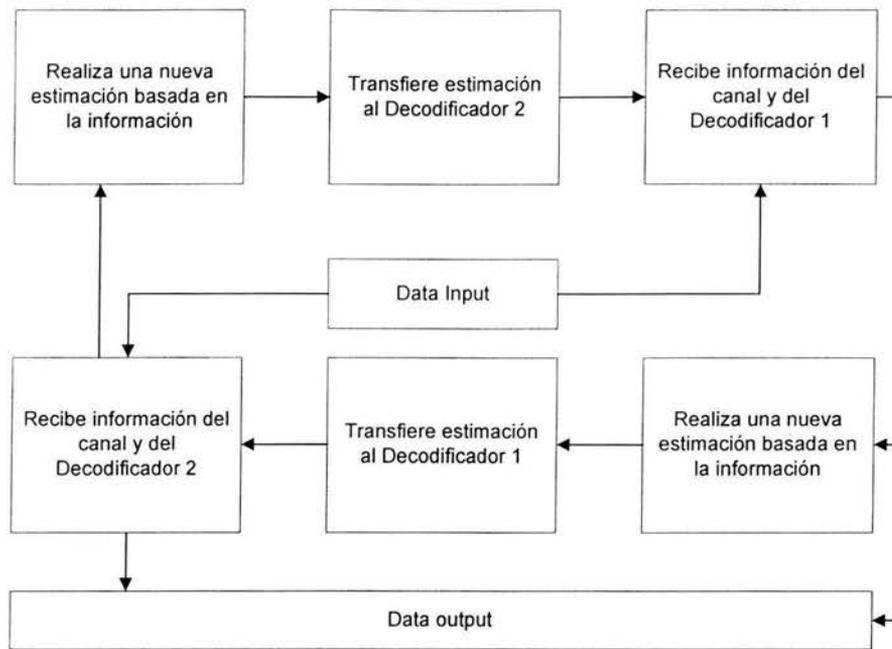


Fig. 3.13 Proceso iterativo del Turbo Decoder

Este ciclo continúa hasta que se cumplan ciertas condiciones reguladas por el número de iteraciones realizadas.

Cuando el decodificador está listo, la información estimada es “sacada” del ciclo y se toman “Hard Decisions” (decisiones sobre el estado binario del bit en cuestión). El resultado es la secuencia de información decodificada.

3.3 Técnicas de codificación para generación de Canales de cdmaOne®

3.3.1 Codificación en Canales del Forward Link

3.3.1.1 Descripción de las operaciones en el Forward Link

La estructura del Forward Link consiste en la transmisión de 64 simultáneos y diferentes canales con funciones diversas que son ortogonalmente multiplexados en la misma portadora de RF. Uno de estos canales es una Señal Piloto que es transmitida continuamente como una referencia de fase coherente para la recepción de portadoras moduladas por información. Otro de estos canales es un Canal de Sincronización el cual es continuamente transmitido y que es usado para transportar información del sistema a todos los usuarios en la célula. Hasta 7 Canales de Paging son usados para fines de señalización en llamadas entrantes a los MS así como para el transporte de asignación de canales y otros mensajes de señalización a MS individuales. Los canales restantes son los llamados Canales de Tráfico los cuales se encargan de transmitir voz y datos a usuarios móviles individuales. (Véase Fig. 3.14).

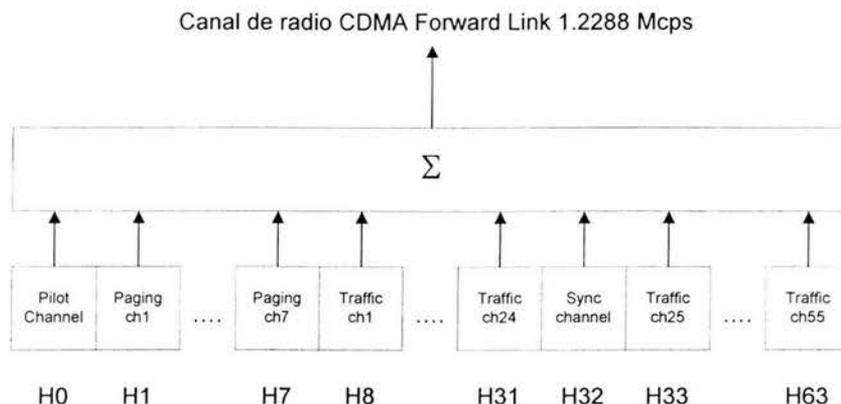


Fig. 3.14 Asignación de Canales para el Forward Link en cdmaOne®

Las operaciones de la multiplexación ortogonal llevada a cabo en el Forward Link son mostradas en la Fig. 3.15. Los Canales del Forward Link consisten en un Canal Piloto, un Canal de Sincronización, Canales de Paging, y Canales de Tráfico. Cada Canal es modulado por un “Walsh Code”, denotado en la Fig. 3.15 como H_i , $i = 0, 1, \dots, 63$. Por convención denominaremos al “Walsh Code” como W_i .

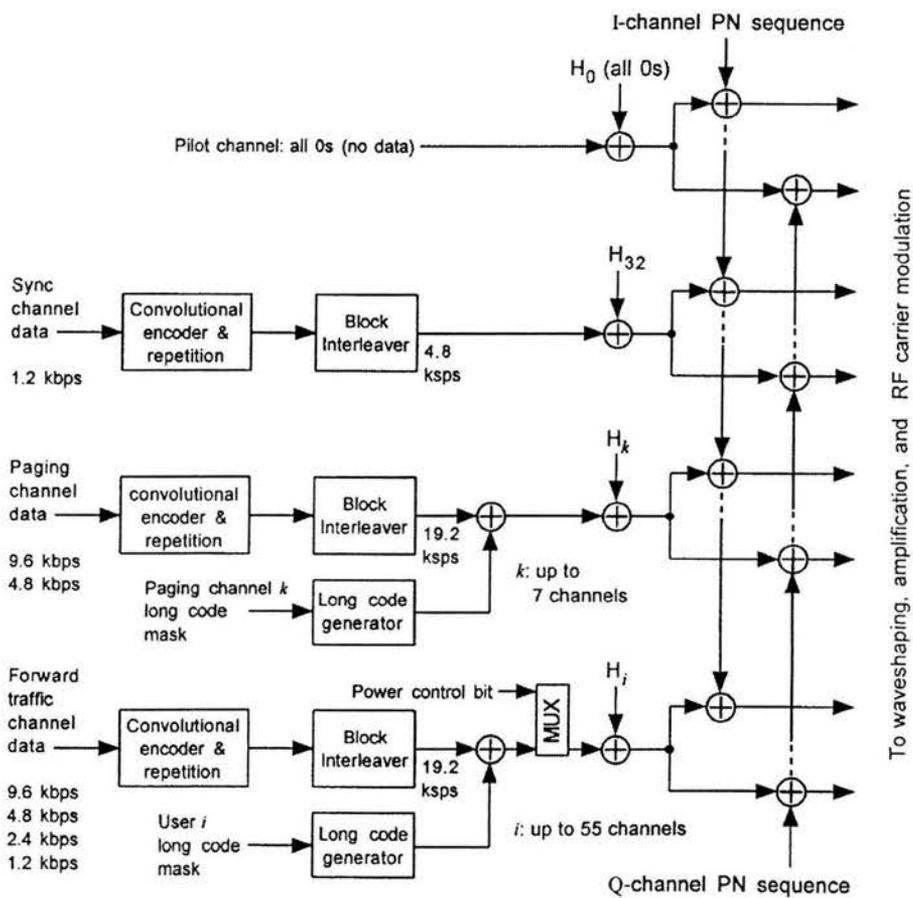


Fig. 3.15 Operaciones de multiplexación en el Forward Link en cdmaOne®

Para fines de modulación y con el hecho de proporcionarle a cada canal una diferente ganancia y potencia en RF, cada canal es filtrado por separado para su modulación en RF.

Obsérvese que el “PN Code” en el Canal I y el “PN Code” en el Canal Q son puestos simultáneamente en operación para realizar la modulación en cuadratura (quadrature spreading) para cada uno de los Canales del Forward Link. El circuito que lleva acabo la modulación en cuadratura se ilustra a continuación. (Véase Fig. 3.16).

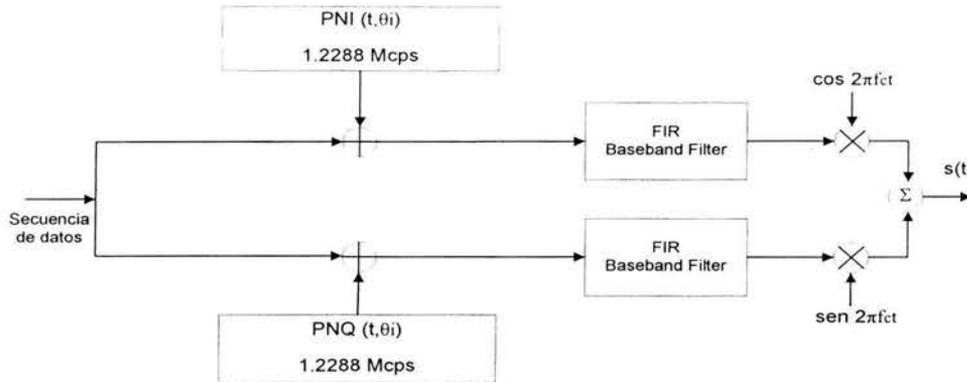


Fig. 3.16 Quadrature spreading en el Forward Link en cdmaOne®

En la Fig. 3.16 se indica cómo la secuencia de datos multiplexada para un canal en particular es separada y modulada por dos “Short Codes” identificados como componentes I (in-phase) y Q (quadrature-phase). Estos componentes se denotan como $PN I(t, \theta_i)$ y $PN Q(t, \theta_i)$ los cuales son generados por una etapa lineal de retroalimentación con 15 “shift-registers”.

La notación θ_i denota el offset del “PN Code” asignado a una RBS en particular, el cual es seleccionado de los 512 valores posibles. A diferencia de la modulación QPSK¹¹ convencional el cual asigna símbolos de banda base alternados en los componentes I y Q , el sistema cdmaOne® asigna la misma secuencia de datos a cada canal de cuadratura. La Fig. 3.16 ilustra un esquema de lo que se conoce como “quadrature spreading”, previamente explicado.

Las dos formas de onda que son producto del proceso del “quadrature spreading” son manipuladas por la acción de Filtros FIR¹² para controlar la forma del espectro emitido. Posteriormente que las señales son filtradas, pasan por un proceso de modulación en donde una señal es afectada por una componente denominada como “in-phase carrier” ($\cos(2\pi f_c t)$) y la otra bajo la influencia de otra componente conocida como “quadrature-phase carrier” ($\text{sen}(2\pi f_c t)$). Las señales moduladas son después sumadas y enviadas al transmisor.

¹¹**QPSK:** Quadrature Phase Shift Keying: Técnica de modulación de una portadora RF mediante el cambio de fase (generalmente de 0, 90, 180 y 270 grados).

¹²**Filtro FIR:** Finite Impulse Response Digital Filter. Es un tipo de filtro digital donde cada salida que es filtrada es calculada a partir de la suma del número finito de entradas. El Filtro FIR puede ser diseñado para obtener una fase lineal (retardo temporal constante).

3.3.2 Codificación en Canales del Reverse Link

3.3.2.1 Descripción de las operaciones en el Reverse Link

La estructura del Reverse Link de cdmaOne[®] consiste de dos tipos de canales: Canales de Tráfico y Canales de Acceso. Para reducir la interferencia y ahorrar la potencia del MS no se utiliza un Canal Piloto. Un MS transmite ya sea un Canal de Acceso o un Canal de Tráfico pero no ambos simultáneamente.

Existe al menos un Canal de Acceso (Access Channel) por cada Canal de Paging del Forward Link, con un máximo de 32 Canales de Acceso por Canal de Paging. Los Canales de Acceso son usados por el MS para la inicialización de una llamada o responder una petición desde la RBS.

El número de Canales de Tráfico en el Reverse Link que transmiten voz y datos hacia la RBS es igual al número de Canales de Tráfico en el Forward Link.

Cada Canal del Reverse Link se distingue por un offset distintivo para cada usuario realizado sobre el mismo "Long Code". Por lo tanto los "Long Codes" utilizados en el Reverse Link sirven para hacer la diferenciación entre los usuarios. Las asignaciones de canales que son recibidas en la RBS son mostradas en la siguiente Fig. 3.17 donde n (es el número de Canales de Paging) y m (es el número de Canales de Tráfico) delimitados por el fenómeno de interferencia que se puede presentar.

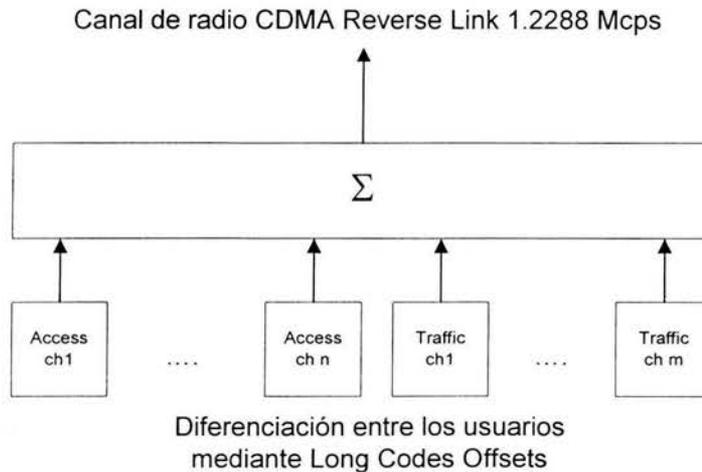


Fig. 3.17 Asignaciones de Canales en el Reverse Link en cdmaOne[®]

El transmisor del Reverse Link consiste de un codificador convolucional y de un modulador ortogonal, así como de un "quadrature spreader" y circuitería en RF. Dicho transmisor se muestra en la Fig. 3.18.

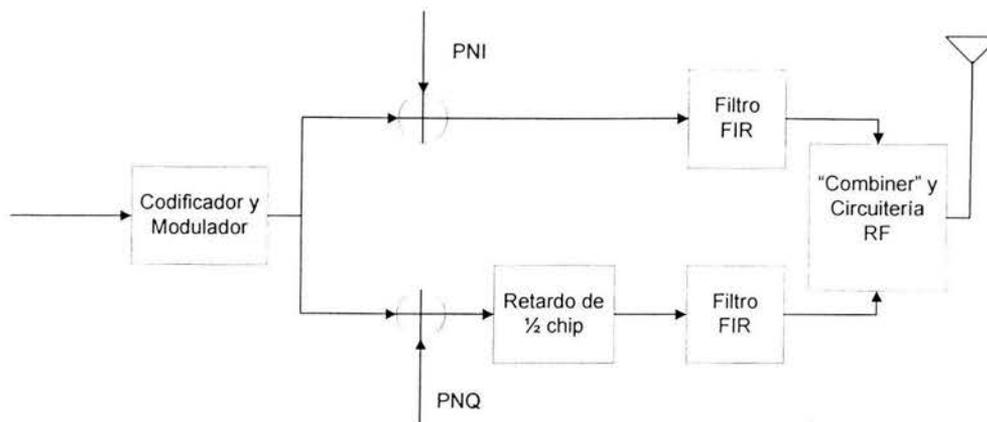


Fig. 3.18 Transmisor de un Canal del Reverse Link en cdmaOne®

Nótese que el “quadrature spreader” para el Reverse Link es diferente que el usado en el Forward Link en el hecho de que un retardo de $\frac{1}{2}$ chip es insertado en el Canal Q para lograr un tipo de modulación conocido como OQPSK¹³ (Offset Quadrature Phase Shift Keying). El efecto de este retardo es para forzar que las transiciones de los chips de los Canales I y Q sean de una cuadratura por cada tiempo, en vez de permitir que sean simultáneos como en el Forward Link.

Sintetizando las funciones de los Canales del Reverse Link, se observa que el Canal de Acceso es utilizado por el MS para inicializar la comunicación con la RBS y para responder a los mensajes que son enviados hacia el MS por la RBS en los Canales de Paging. Tal como en el Forward Link, el Reverse Link utiliza tasas variables de datos para los Canales de Tráfico pasando desde los 1.2 kbps a los 9.6 kbps. La transmisión de diferentes tasas de datos es realizado por el “Data Burst Randomizer”, este es usado para reducir la potencia promedio cuando la actividad de la señal de voz disminuye. Como en el Access Channel no existe actividad de la señal de voz, entonces el Data Burst Randomizer no es implementado para el caso de su generación.

3.4 Técnicas de codificación para generación de Canales en CDMA2000 1x

3.4.1 Codificación en Canales del Forward Link

3.4.1.1 Descripción de las operaciones en el Forward Link

Para la descripción de las operaciones que se llevan a cabo en la generación de los Canales del Forward Link del CDMA2000 es necesaria la definición y el funcionamiento de los nuevos conceptos que se introducen, conllevando al mejor desempeño del sistema con respecto a su antecesor. De esta manera se hablará de los cambios hechos en la codificación y modulación para el sistema CDMA2000.

3.4.1.1.1 Canales Físicos del Forward Link

La estructura del Forward Link para el Sistema CDMA2000 1x viene descrito por la siguiente Fig. 3.19.

¹³**OQPSK:** Offset Quadrature Phase Shift Keying. Técnica de modulación similar que QPSK pero con un offset inicial en fase (generalmente de 45 grados) en uno de sus dos canales binarios. Como resultado, la fase nunca cambia a más de 90 grados en cualquier transición de datos.

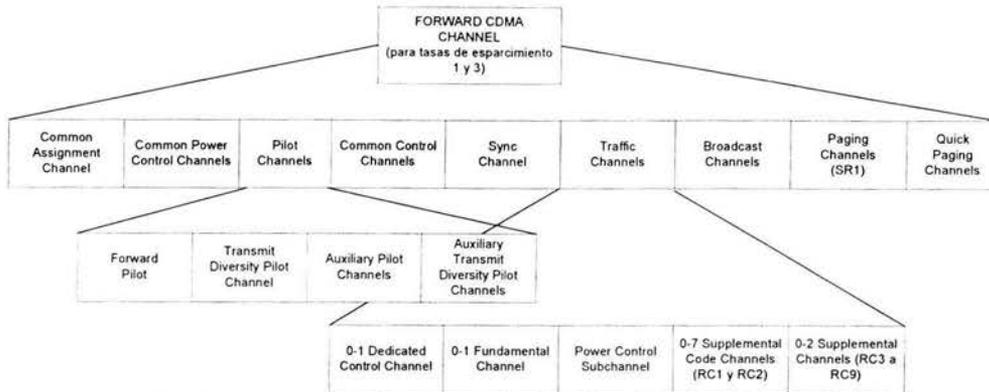


Fig. 3.19 Asignación de Canales en el Forward Link en CDMA2000

▪ **Common Pilot Channel (F-CPICH)**

Utilizado para la estimación del canal, adquisición inicial y “Handoffs”.

El sistema del CDMA2000 provee una Señal Piloto común para todos los usuarios. La Señal Piloto es una secuencia de ceros antes de pasar por el “Spreading” del “Walsh Code 0”. Este Canal Piloto es compartido por todos los Canales de Tráfico. Entre otras de las funcionalidades del F-CPICH están:

- a) Ganancia del canal¹⁴ y estimación de fase.
- b) Detección de multitrayectorias para una asignación eficiente del “Rake Finger”. (Véase “Rake Receiver¹⁵”).
- c) “Handoff”.

El “Common Pilot Channel” permite una mejor estimación sobre el “canal de fading” y una detección más rápida de las multitrayectorias débiles en vez de utilizar una aproximación otorgada por un Canal Piloto de un usuario en específico.

▪ **Auxiliary Pilot Channels (F-APICH)**

Estos canales están relacionados con aplicaciones de generación de haces direccionados en antenas de CDMA. La manipulación de dichas aplicaciones puede ser utilizada para incrementar la “Cobertura” en una zona en particular.

Son señales de espectro esparcido que no tienen información, no moduladas y que son generada por el proceso de DS (Direct Sequence) “Spread Spectrum”, es decir la señal es esparcida en un rango amplio de frecuencias.

Modalidades tales como el OTD (Orthogonal Transmit Diversity) requieren de una Señal Piloto para proporcionar estimaciones de canal. Además, este tipo de canales proveen una referencia de fase para la demodulación coherente para aquellos Canales del Forward Link que estén asociados con la Señal Piloto Auxiliar. Los Auxiliary Pilot Channels son codificados y multiplexados con otros Canales del Forward Link y utilizan “Walsh Codes” ortogonales.

¹⁴**Ganancia del canal (Channel Gain):** La Ganancia del canal está determinado por el mínimo valor posible que le permite a un MS recibir la señal con un número aceptable de frames incorrectos. Los canales de los MS que se encuentran lejanos a la BS, con los que se tiene comunicación, tienden a tener una ganancia mayor con respecto a los MS que se encuentran cercanos a ella. La potencia total transmitida por la BS está determinada por la ganancia de los canales individuales.

¹⁵**Rake Receiver:** Es una técnica del receptor que se aprovecha del fenómeno de las multitrayectorias para mejorar el desempeño del sistema. Múltiples correladores o “fingers” son usados (en forma individual) para procesar las distintas multitrayectorias. Posteriormente las salidas son pasadas a un combinador con el fin de incrementar el nivel total de la señal.

▪ **Dedicated Auxiliary Pilot Channel (F-DAPICH)**

En contraste con los Auxiliary Pilot Channels (F-APICH) que están dirigidos para un conjunto de MS, los Dedicated Auxiliary Pilot Channels (F-DAPICH) están destinados para la misma función pero a un determinado MS. Utilizado para incrementar la “Cobertura” o la tasa de datos hacia un MS en particular.

- a) Pueden utilizar mayor potencia, permitiendo mejor estimación de la fase y una mejor adquisición de la multitrayectoria.
- b) Permite un control en tiempo de la potencia con canales en común.

▪ **Sync Channel**

Este canal posee la misma función que el canal dispuesto en IS-95A/B conteniendo información de sincronización. Para SR3 el Sync Channel es transmitido en una de las tres portadoras. Asimismo es utilizado para la adquisición del tiempo inicial de sincronización para los MS y para determinar la localización del Canal de Paging.

▪ **Paging Channels**

Las funciones de “paging” y envío de mensajes (información de control) para determinados MS, es ahora realizado en dos canales por separado, el Broadcast Control Channel (F-BCCH) y el Common Control Channel (F-CCCH), en donde el primero es usado para el “broadcast¹⁶” y el otro para el envío de mensajes de la Subcapa MAC dirigidos a determinados MS (éste último canal es utilizado para la comunicación de la Capa 3).

Con la ayuda del F-BCCH se reduce el número de mensajes destinados a un solo Canal de Paging, con ello se mejora el tiempo de inicialización del MS y un mejor desempeño en el acceso al sistema.

Teniendo dos canales (caso contrario al de cdmaOne[®], el cual contaba un solo Canal de Paging) se permite la optimización de la estructura de la Capa Física, tal como la longitud del frame y la tasa de bits, así como la potencia de transmisión de la RBS, basado sobre el tipo de mensaje que es transmitido.

Tres nuevos canales de la Capa Física sustituyen al Canal de Paging del IS-95A/B

- a) F-BCCH (Broadcast Control Channel)
- b) F-QPCH (Quick Paging Channel)
- c) F-CCCH (Common Control Channel)

a) **Broadcast Control Channel (F-BCCH)**

Transporta mensajes de encabezado para un sector celular en específico que anteriormente era transmitido en el Canal de Paging del IS-95A/B. El Broadcast Control Channel también realiza “broadcast” sobre los SMS.

¹⁶**Broadcast** : Proceso de enviar un frame direccionado a todas las estaciones con las que se tiene comunicación.

b) Common Control Channel (F-CCCH)

La RBS utiliza de este canal para transmitirle a determinados MS mensajes dirigidos. El canal opera en un modo de transmisión discontinuo (DTX), significando que el canal no va a ser usado si no se envía mensaje. La tasa del canal puede acomodarse entre las siguientes: 9.6 kbps, 19.2 kbps, o 38.4 kbps.

c) Quick Paging Channel (F-QPCH)

Es agregado para mejorar el desempeño en el “Modo Stand by¹⁷” del MS (extiende la vida útil de la batería de éste). El Forward Quick Paging Channel es utilizado por la RBS cuando necesita contactar al MS en “modo ranurado” (slotted mode) y también para indicar los parámetros de configuración del sistema. La finalidad de este canal es reducir drásticamente la cantidad de tiempo en el que el MS monitorea los “slots” del Canal de Paging. Tal como el Canal de Paging del IS-95B , el F-QPCH puede operar ya sea a 4800 o 9600 bps. El Canal F-QPCH utiliza dos bits indicadores de Paging (PI) por mensaje utilizando modulación OOK¹⁸ (On-Off Key Modulation), debido a que su modulación es diferente, éste aparece como un Canal Físico distinto.

- Un 1 le indica al MS que debe de monitorear el siguiente spot del F-CCCH/F-PCH.
- Un 0 le indica al MS que debe de retornar al “Modo Sleep¹⁹” hasta el después ciclo.

Implementando el Quick Paging Channel se logra mejorar la relación sleep/awake de 13/1 a 200/1 en “Modo Idle²⁰”.

Los siguientes “Walsh Codes” de longitud de 128 chips son utilizados para los tres Quick Paging Channels: W_{80} , W_{48} y W_{112} .

▪ **Dedicated Control Channel (F-DCCH)**

Introducido para señalización, MAC y datos. Este canal provee soporte de señalización (a un determinado MS durante una llamada) y un subcanal de control de potencia para un Canal Suplementario cuando el Fundamental Channel no esta presente. El F-DCCH puede operar en modo DTX a una tasa fija de 9.6 kbps o 14.4 kbps.

▪ **Fundamental Channel**

Idéntico al canal del IS-95A/B, usado para voz, datos y control.

▪ **Supplemental Code Channel**

Introducido en IS-95B para altas tasas de datos y voz para nuevos servicios.

¹⁷**Modo Stand by:** Un dispositivo está en Modo Stand by cuando no está activa la Sesión de Paquetes o el curso de una llamada, sin embargo se encuentra habilitado para la entrada y establecimiento de cualquier conexión.

¹⁸**OOK:** On-Off Key Modulation. Técnica de modulación que se deriva de ASK (Amplitude Shift Keying) en donde se cambia la amplitud debido a la presencia de la portadora o la ausencia de la misma, de acuerdo a los estados binarios 1 y 0.

¹⁹**Modo Sleep:** Modo que permite conservar la vida útil de la batería del MS, mandándolo al estado de apagado periódicamente para que en un próximo estado encendido, el MS monitoree llamadas entrantes.

²⁰**Modo Idle:** Un dispositivo está en Modo Idle cuando éste no ha establecido conexión con otros dispositivos.

- **Supplemental Channel (F-SCH)**

Introducido para soportar tasas de datos arriba de 1 Mbps.

- **Common Assignment Channel (F-CACH)**

En operación conjunta con el Reverse Enhanced Access Channel (R-EACH) fue específicamente diseñado para proveer una respuesta rápida de las asignaciones del Canal del Reverse Link para soportar transmisiones de paquetes de acceso aleatorio en el Reverse Link. Además minimiza las colisiones presentadas cuando recibe datos ráfaga del Reverse Link.

- **Common Power Control Channel (F-CPCCH)**

Es un Forward Common Channel que transmite bits de control de potencia (por ejemplo subcanales de control de potencia) hacia múltiples MS. El Common Power Control Channel es usado por los MS que operan en el Modo de Acceso Controlado de Potencia (Controlled Access Mode) o Modo de Reservación de Acceso (Reservation Access Mode).

3.4.1.1.2 Radio Configurations para SR1 y SR3

En primer término, se introduce el concepto de “Radio Configuration” (RC) el cual es un conjunto de formatos de transmisiones cuyos valores vienen determinados por la Fig. 3.20. Este conjunto de formatos están definidos por las tasas de transmisión, características de modulación y tasa de esparcimiento (Spreading Rate). El Spreading Rate (SR1) y el Spreading Rate (SR3) se refiere a los sistemas 1XRTT y al 3XRTT respectivamente. CDMA2000 define nueve opciones de RC para el Forward Link para ofrecer compatibilidad con los sistemas IS-95A/B así como soportar progresivamente altas tasas de datos empleando “Walsh Codes” de longitud variable y tasas variables de codificación, de los cuales más adelante se hará mención a mayor detalle.

<i>RC</i>	<i>SR</i>	<i>Data Rates, FEC, and General Characteristics</i>
1	1	1200, 2400, 4800 and 9600 bps data rates with R=1/2, BPSK pre-spreading symbols.
2	1	1800, 3600, 7200 and 14400 bps data rates with R=1/2, BPSK pre-spreading symbols.
3	1	1500, 2700, 4800, 9600, 19200, 38400, 76800, and 153600 bps data rates with R=1/4, QPSK pre-spreading symbols, TD allowed.
4	1	1500, 2700, 4800, 9600, 19200, 38400, 76800, 153600, and 307200 bps data rates with R=1/2, QPSK pre-spreading symbols, TD allowed.
5	1	1800, 3600, 7200, 14400, 28800, 57600, 115200, and 230400 bps data rates with R=1/4, QPSK pre-spreading symbols, TD allowed.

<i>RC</i>	<i>SR</i>	<i>Data Rates, FEC, and General Characteristics</i>
6	3	1500, 2700, 4800, 9600, 19200, 38400, 76800, 153600, and 307200 bps data rates with R=1/6, QPSK pre-spreading symbols.
7	3	1500, 2700, 4800, 9600, 19200, 38400, 76800, 153600, 307200, and 614400 bps data rates with R=1/3, QPSK pre-spreading symbols.
8	3	1800, 3600, 7200, 14400, 28800, 57600, 115200, 230400, and 460800 data rates with R=1/4 (20ms) or 1/3 (5ms), QPSK pre-spreading symbols.
9	3	1800, 3600, 7200, 14400, 28800, 57600, 115200, 230400, 460800, and 1036800 bps data rates with R=1/2 (20 ms) or 1/3 (5 ms), QPSK pre-spreading symbols.

Fig 3.20 Radio Configurations (RC) para el Forward Link en SR1 y SR3 del CDMA2000

3.4.1.1.3 Walsh Codes de longitud variable

CDMA2000 alcanza tasas más altas utilizando canales de tamaño variable al contrario que sucedía con los Canales de cdmaOne[®] los cuales eran fijos. La Tabla 3.21 indica las distintas tasas alcanzadas utilizando el SR1 (1XRTT).

El estándar especifica una tasa máxima de datos de 307 kbps (9.6 x 32) en un Supplemental Channel. La implementación comercial, sin embargo, está alrededor de los 153 kbps (9.6*16) mientras que la máxima tasa será de 230 kbps (14.4 x 16).

F-SCH Rates para RS1

<i>Walsh Length</i>	<i>Data Rate (kbps)</i>
128	9.6
64	19.2
32	38.4
16	76.8
8	153.6
4	307.2

F-SCH Rates para RS2

<i>Walsh Length</i>	<i>Data Rate (kbps)</i>
64	14.4
32	28.8
16	57.6
8	115.2
4	230.4

Tabla 3.21 Data Rates para CDMA2000 (1XRTT)

Dependiendo del RC, se obtienen diferentes tasas de datos. Si el “Chip Rate” es constante, entonces el acomodo de paquetes de diferentes y más altas tasas en un ancho de banda fija es lograda a través de la modulación QPSK. En el Forward Link, esto permite incrementar la tasa de datos en lo doble, así como en la utilización de “Walsh Codes” de longitud variable. Si se utilizan “Walsh Codes” de longitud corta, mas símbolos QPSK deben de ser usados por unidad de tiempo al mismo “Chip Rate”. Por ejemplo, para 1XRTT, con un RC5, se alcanza una tasa de $2 \times 9.6=19.2$ kbps, utilizando “Walsh Codes” de longitud de 64; por otro lado una tasa de $16 \times 9.6=153.6$ kbps es lograda si se usan “Walsh Codes” de longitud de 8.

3.4.1.1.4 Estructura de Canales para codificación y modulación para RC en SR1

Las características en las que se basan los RC para el SR1 son las siguientes:

- a) RC1. Soporta compatibilidad con IS-95B para RS1.
- b) RC2. Soporta compatibilidad con IS-95B para RS2.
- c) RC3. Soporta RS1 en tasas que van de 1500 bps a 153.6 kbps utilizando $R=1/4$ (FEC). Se permite OTD.
- d) RC4. Soporta RS1 en tasas que van de 1500 bps a 307.2 kbps utilizando $R=1/2$ (FEC). Se permite OTD.
- e) RC5. Soporta RS2 en tasas que van de 1800 bps a 230.4 kbps utilizando $R=1/4$ (FEC). Se permite OTD.

A continuación se muestra un diagrama de bloques para los RC3, RC4, y RC5 en el que se ilustra el proceso para obtener los símbolos codificados a partir de la secuencia de bits que ingresan al primer bloque. Estos diagramas aplican para las Estructuras del Forward Fundamental Channel y del Forward Supplemental Channel. (Véanse Figs. 3.22, 3.23, 3.24).

ESTA TESIS NO SALE
DE LA BIBLIOTECA

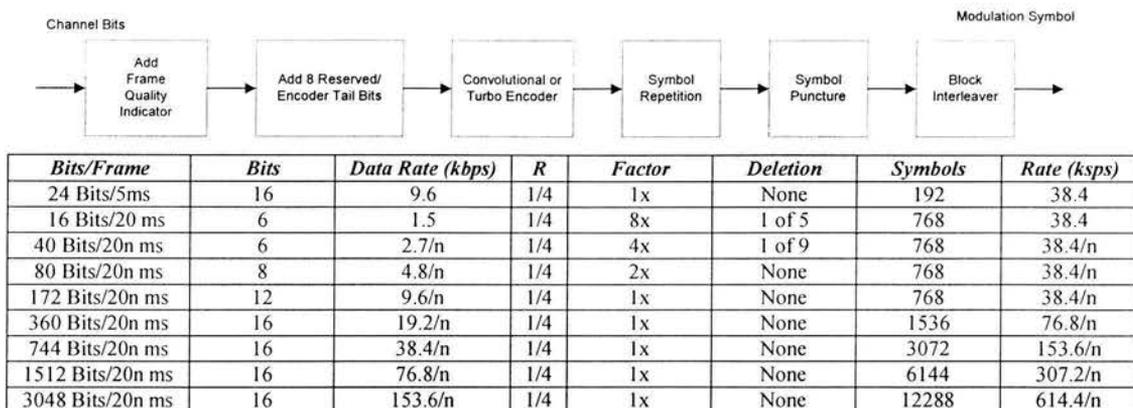


Fig. 3.22 Estructura del “Forward Fundamental Channel” y del “Forward Supplemental Channel” para RC3

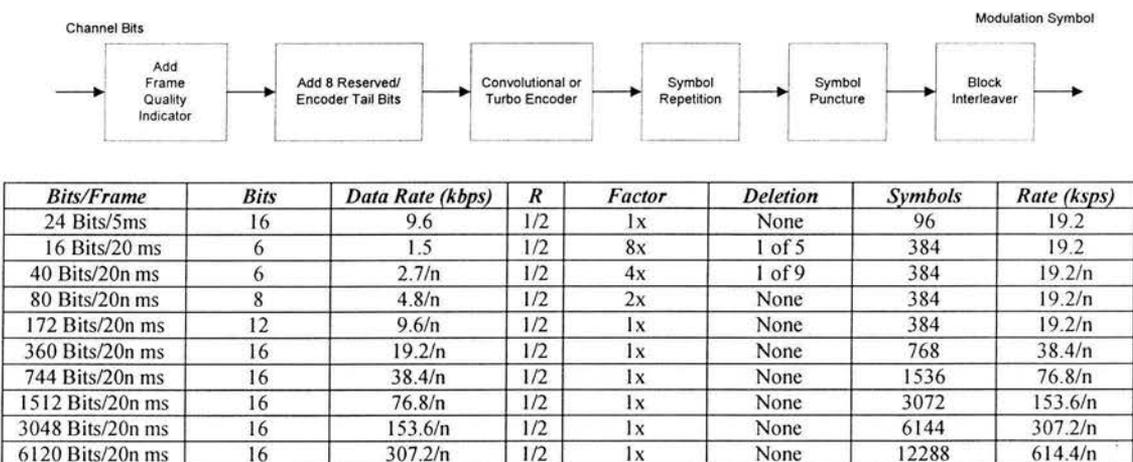


Fig. 3.23 Estructura del “Forward Fundamental Channel” y del “Forward Supplemental Channel” para RC4

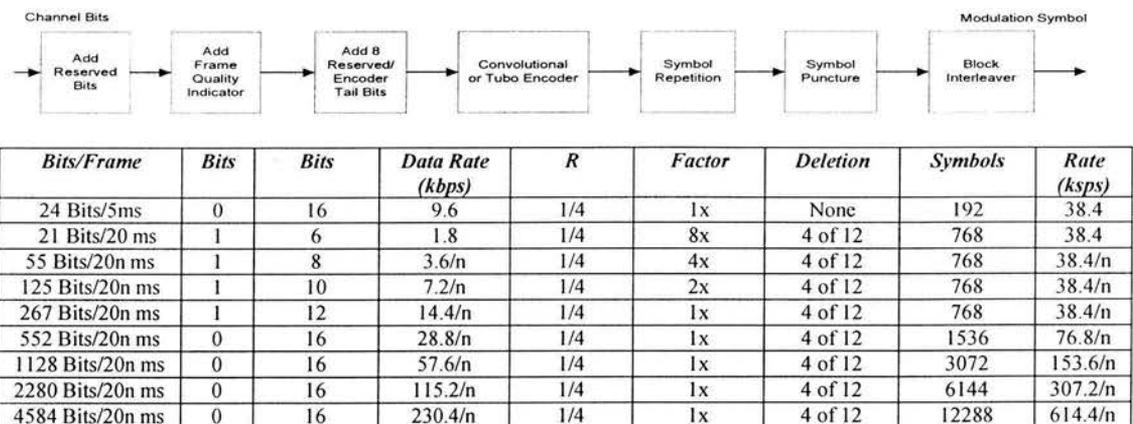


Fig. 3.24 Estructura del “Forward Fundamental Channel” y del “Forward Supplemental Channel” para RC5

*Nota: Para las figuras anteriores n es la longitud del frame en múltiplos de 20 ms.

Se analizarán las características de codificación para el sistema CDMA2000 en comparación con las de cdmaOne[®] para que de esta manera se determinen los cambios realizados que ayudan a obtener tasas más altas y doblar la capacidad en la señal de voz con respecto a su sistema antecesor.

En primer término, el sistema IS-95B utiliza Rates $R = \frac{1}{2}$ y $R = \frac{3}{4}$ en los codificadores convolucionales para propósitos de implementar el FEC. CDMA2000 mejora el FEC implementando altas tasas de codificación convolucional y “Turbo Codes” los cuales proporcionan mayor ganancia en la codificación con respecto a los codificadores convolucionales.

Los “Turbo Codes” introducen mucho retardo en las aplicaciones de voz, sin embargo, para servicios donde se manejan altas tasas de datos se pueden tener retardos en decodificaciones no mayores a los 20 o 30 ms.

El IS-2000 1x utiliza Rates $R = \frac{1}{2}$ y $R = \frac{1}{4}$ para Turbo Codes y codificadores convolucionales.

▪ **Codificador Convolucional**

Al igual que en cdmaOne[®], tiene la misma funcionalidad la cual consiste en proveer la capacidad del FEC. Provee redundancia con lo que le ayuda al receptor en la corrección de errores. Todos los codificadores convolucionales implementados en cdmaOne[®] y en CDMA2000 tienen un “constraint length” $K = 9$, significando que un bit permanece en el “shift-register” por 9 pulsos de reloj (Ocho localidades más la entrada). (Véanse Figs. 3.25, 3.26).

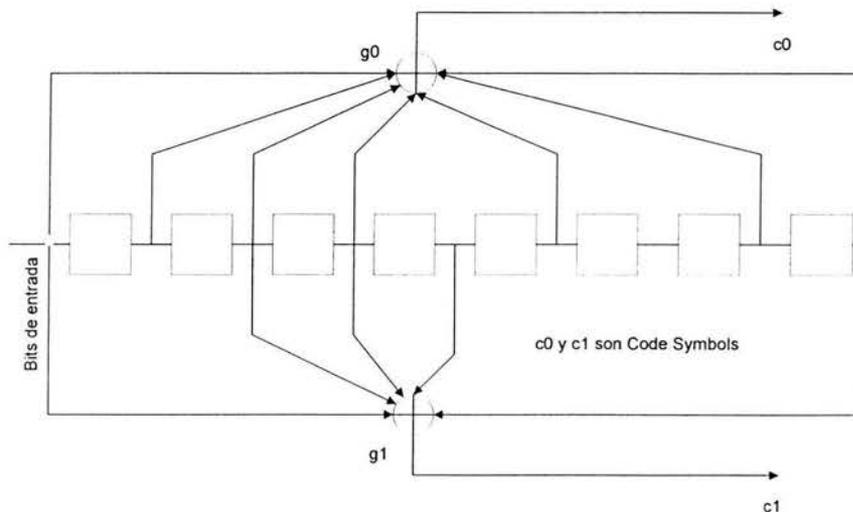


Fig. 3.25 Codificador Convolucional con $R=1/2$ y $K=9$

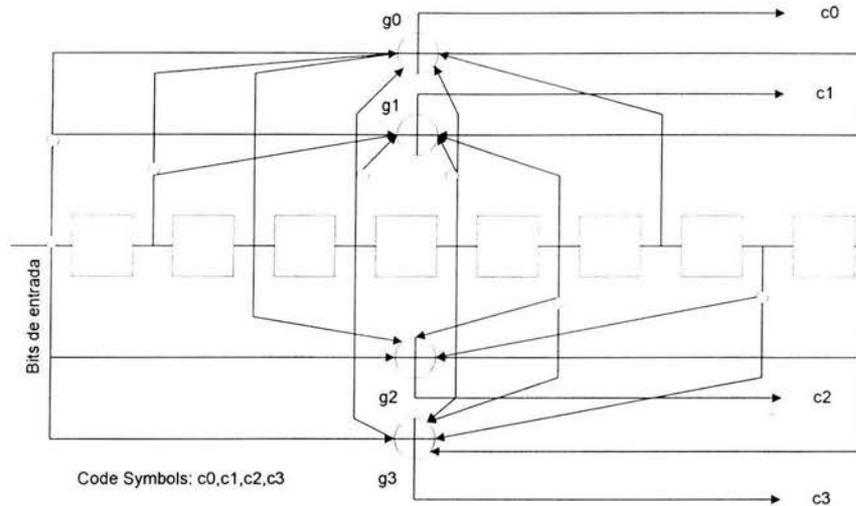


Fig. 3.26 Codificador Convolucional con $R=1/4$ y $K=9$

El $R = \frac{1}{2}$ significa que por cada pulso de reloj, un bit que ingresa en el codificador convolucional genera dos símbolos de salida denotados como c_0 y c_1 . Los polinomios definidos como g_0 y g_1 indican cuales entradas son las que operan bajo compuertas XOR. En el sistema IS-95B la codificación para $R = \frac{1}{2}$ es implementada para ambos “Rate Sets” en el Forward Link. Dos de cada seis símbolos son pasados por el “puncturing²¹” para el RS2 con el fin de generar la codificación $R = \frac{3}{4}$. El codificador convolucional con $R = \frac{1}{2}$ es empleado para los bits del RS2 del Reverse Link en el estándar IS-95B y para diferentes RC en CDMA2000.

El $R = \frac{1}{3}$ significa que por cada pulso de reloj, un bit que ingresa en el codificador convolucional genera tres símbolos de salida c_0 , c_1 , y c_2 . Es usado en IS-95B para los bits del RS1 del Reverse Link en IS-95B y para diferentes RC en CDMA2000.

También es implementado el codificador convolucional con $R = \frac{1}{4}$ en RC3 y RC5.

▪ Turbo Coding

El “Turbo Encoder” codifica los datos, genera el indicador que provee la calidad del frame (CRC²²), y manipula dos bits de reserva de entrada, mientras que a la salida del “Turbo Encoder” agrega una secuencia de salida denominada como “output tail”. Si número total de los datos, del indicador, y de los bits reservados de entrada se denomina como N_{turbo} , el “Turbo Encoder” genera un N_{turbo}/R datos codificados (symbols) seguidos por $6/R$ símbolos que conforman al “output tail”, donde R es el “Code Rate” de $1/2$, $1/3$, o $1/4$. El “Turbo Encoder” emplea dos codificadores convolucionales sistemáticos y recursivos conectados en paralelo, con un entrelazador, conocido como “Turbo Interleaver” el cual precede al segundo codificador convolucional. Las salidas de los dos codificadores

antes mencionados son pasadas por el “puncturing” y repetidos para alcanzar $(N_{turbo}+6)/R$ símbolos de salida. (Véase Fig. 3.27).

El “Turbo Interleaver”, el cual es parte del turbo encoder, debe de funcionar como un “Block Interleaver” para los datos, realizar el “entrelazado” sobre el indicador de la calidad del frame (CRC) y sobre los bits reservados de entrada hacia al “Turbo Encoder”.

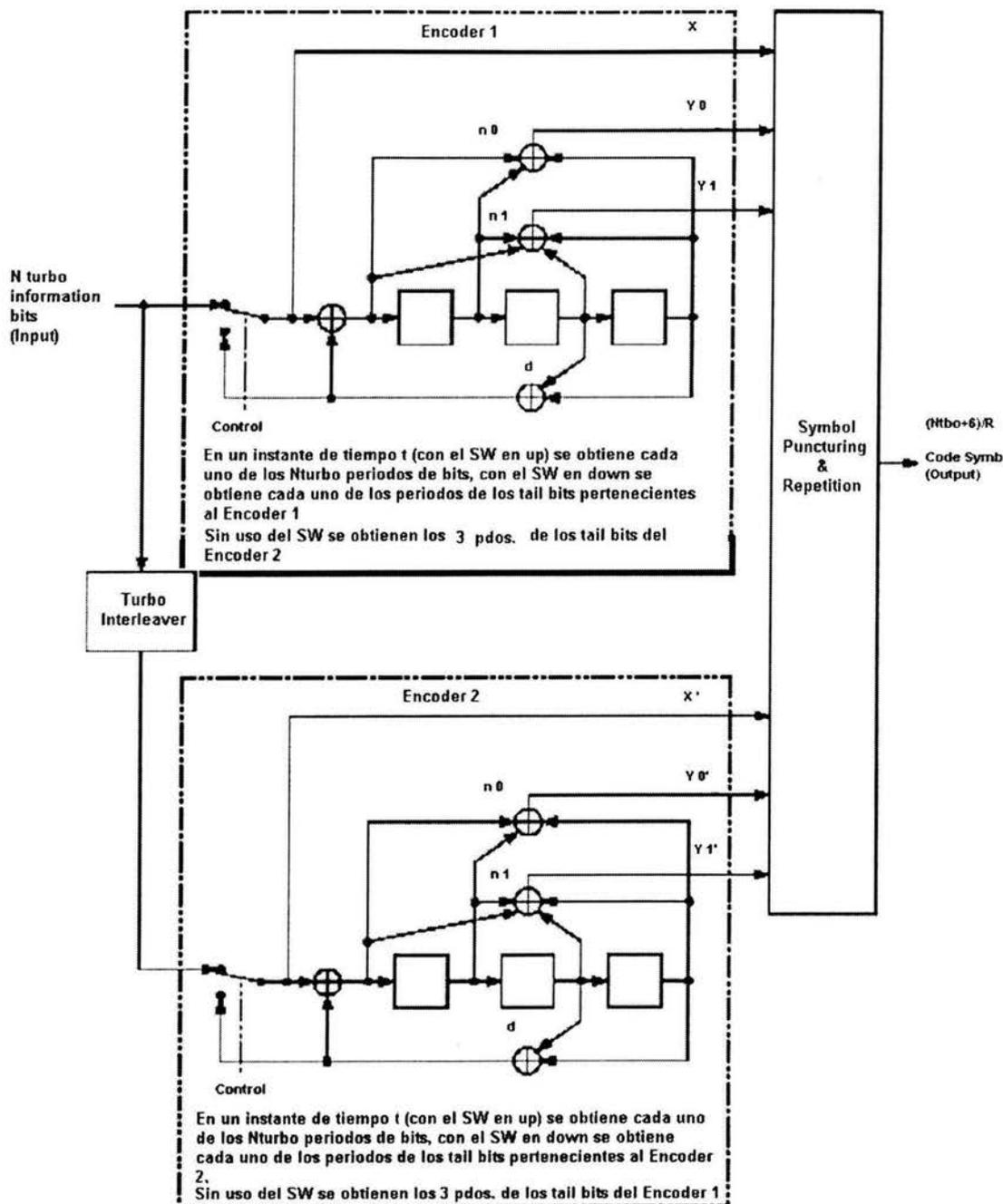


Fig. 3.27 Turbo Encoder para CDMA2000

▪ **Repetición de los símbolos código**

Los símbolos código obtenidos a partir del codificador convolucional deben ser repetidos de acuerdo a la siguiente Tabla. 3.28.

Channel Type		Number of Repeated Code Symbols / Code Symbol
Sync Channel		2 (SR 1) 4 (SR 3)
Paging Channel		2 (4800 bps) 1 (9600 bps)
Broadcast Channel		1
Quick Paging Channel		2 (SR 1 at 4800 bps) 4 (SR 1 at 2400 bps) 3 (SR 3 at 4800 bps) 6 (SR 3 at 2400 bps)
Common Assignment Channel		1
Forward Common Control Channel		1
Forward Dedicated Control Channel		1 (RC 3, 4, 5, 6, 7, and 9; and RC 8, 20 ms) 2 (RC 8, 5 ms)
Forward Fundamental Channel		8 (1200, 1500, or 1800 bps) 4 (2400, 2700, or 3600 bps) 2 (4800 or 7200 bps) 1 (9600 or 14400 bps, 20 ms) 2 (9600 bps, 5 ms)
Forward Supplemental Code Channel		1 (RC 1 or 2)
Forward Supplemental Channel	20 ms frames	8 (1500 or 1800 bps) 4 (2700 or 3600 bps) 2 (4800 or 7200 bps) 1 (> 7200 bps)
	40 ms frames	4 (1350 or 1800 bps) 2 (2400 or 3600 bps) 1 (> 3600 bps)
	80 ms frames	2 (1200 or 1800 bps) 1 (> 1800 bps)

Tabla 3.28 Repetición de los “Code Symbols”

▪ **Puncturing**

a) **Puncturing sobre los símbolos del Convolutional Code y del Turbo Coding**

La Tabla 3.29 incluye el “Code Rate”, la razón del “puncturing” y patrones del mismo que deben ser utilizados para diferentes RC. Para un patrón de “puncturing”, un “0” significa que el símbolo debe ser eliminado, un “1” significa que el símbolo se debe de dejar pasar. Dicha Tabla aplica sobre los símbolos que se obtienen a la salida del “Convolutional Encoder”.

Por ejemplo, el patrón del “puncturing” para el Radio Configuration 2 es 110101 significando que el primero, segundo, cuarto y sexto símbolos se dejan pasar, mientras que el tercero y el quinto símbolos de cada grupo consecutivo de seis símbolos son removidos.

Code Rate	Razón del "puncturing"	Patrón del "puncturing"	RC asociado
1/2	2 de 6	'110101'	2
1/2	1 de 5	'11110'	4
1/2	1 de 9	'111111110'	4
1/2	2 de 18	'111011111 111111110'	9
1/3	1 de 5	'11110'	7
1/3	1 de 9	'111111110'	7
1/4	4 de 12	'110110011011'	5
1/4	1 de 5	'11110'	3
1/4	1 de 9	'111111110'	3
1/6	1 de 5	'11110'	6
1/6	1 de 9	'111111110'	6

Tabla 3.29 Códigos pasados por el "puncturing" utilizando "Convolutional Codes"

Para el caso de los símbolos que se obtienen a la salida del "Turbo Coding" y que son sometidos al proceso de "puncturing", se obtiene la siguiente tabulación. (Véase Tabla 3.30).

Code Rate	Razón del "puncturing"	Patrón del "puncturing"	RC asociado
1/2	2 de 18	'111110101 111111111'	9
1/4	4 de 12	'110111011010'	5

Tabla 3.30 Códigos pasados por el "puncturing" utilizando "Turbo Codes"

b) Scrambling y control de potencia del puncturing.

Similar a IS-95B un "Long Code" pasa por el "Decimator" (Decimador²³) para concordar con la tasa de símbolos, el resultado de este proceso es sumado en módulo 2 con el stream²⁴ de símbolos. Este proceso es conocido como "scrambling". Posteriormente el stream de símbolos es pasado por el "puncturing" con comandos de control de potencia para ajustar la potencia transmitida del MS. (Véase Fig. 3.31).

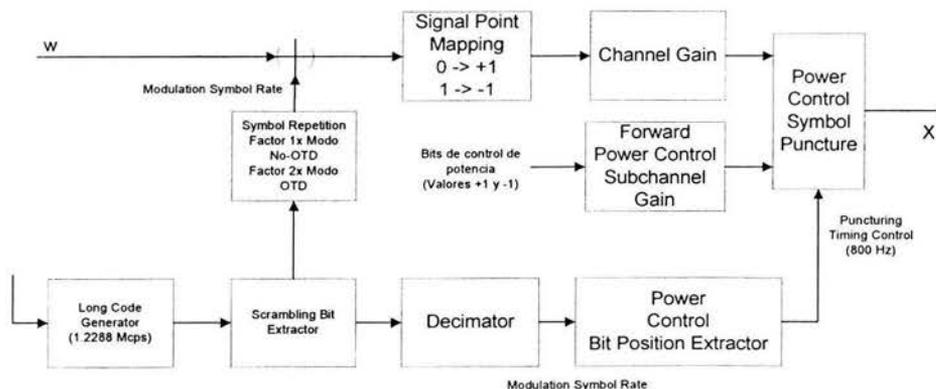


Fig. 3.31 Scrambling y control de potencia del puncturing para SRI

²³Decimador: Dispositivo de Hardware encargado de realizar el proceso de decimación.

²⁴Stream: Secuencia de símbolos que se trasladan en un canal de comunicación en un Sistema de Comunicaciones Digitales.

c) **Puncturing para control de potencia**

Este proceso se desempeña únicamente en los Fundamental Channels o en el Forward Dedicated Control Channel cuando un Fundamental Channel no es asignado. (Véase Fig. 3.32).

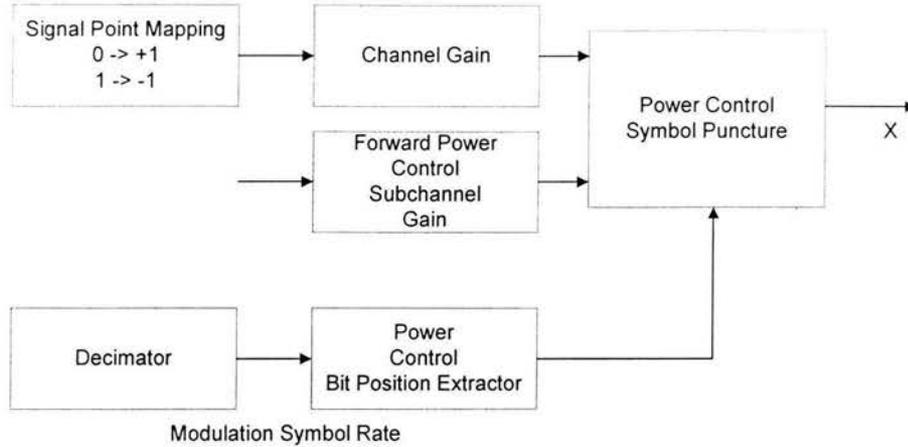


Fig. 3.32 PowerControl Puncturing

*Nota: Ver en el pie de página el proceso realizado por el Decimador llamado Decimación²⁵

▪ **Demultiplexación para QPSK**

La modalidad “Transmit Diversity” reduce la razón $\frac{E_b}{N_t}$ (o la potencia requerida por canal) y con ello mejorar la “Capacidad” del sistema.

El Modo OTD provee la modalidad “Transmit Diversity” para el caso del “Direct Spreading²⁶” es decir cuando N=1. Los streams son pasados a diferentes antenas y por lo tanto es necesario utilizar un diferente código ortogonal por antena en el momento de realizar el “Spreading”, con ello se evitan problemas de interferencia. En el caso de usar una antena adicional, se emplea una Señal Piloto Auxiliar.

Para una transmisión que no sea OTD, el stream de símbolos es dividido en dos trayectorias. Para una modalidad OTD, el stream de símbolos es dividido en cuatro trayectorias. Un incremento en el espacio dimensional de los “Walsh Codes” es directamente proporcional a la tasa de demultiplexación. Esto significa, que para SR1 y una modalidad que no sea OTD, hasta 128 “Walsh Codes” se pueden utilizar. (Véase Fig.3.33).

²⁵**Decimacion:** Es el proceso de descartar algunos valores de la señal de la entrada para producir una salida que tiene una tasa más baja que la entrada. Generalmente, cada n-ésimo chip de entrada es mandado a la salida causando que la tasa a la salida sea 1/n de la tasa de entrada. El valor de cada n-ésimo chip de entrada es repetido a la salida para conformar una salida continua a una tasa reducida.

²⁶**Direct Spreading (DS):** Técnica de modulación donde una secuencia pseudo-aleatoria directamente modula en fase a una portadora, incrementando el ancho de banda de la transmisión y reduciendo la densidad espectral de potencia. La señal RF resultante tiene un espectro similar al ruido, que solamente puede ser “interpretada” por el receptor. La señal recibida es sometida al “Despreading” mediante la correlacion de ésta y la secuencia pseudo-aleatoria utilizada en el transmisor.

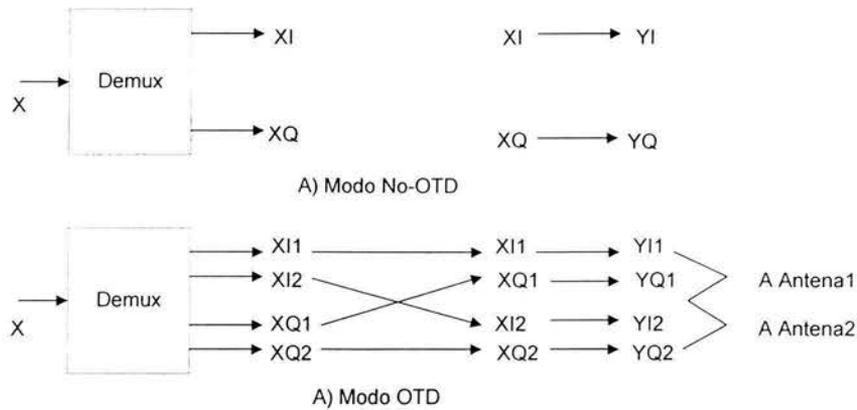


Fig. 3.33 Demultiplexación para QPSK

▪ **Complex Spreading**

Seguido de un proceso de ortogonalización o de “cuasi-ortogonalización” en código para la canalización, los símbolos son pasados por el “complex-multiplier”, filtrados y modulados en QPSK. Finalmente se obtiene la señal $s(t)$ la cual será transmitida. (Véase Fig. 3.34).

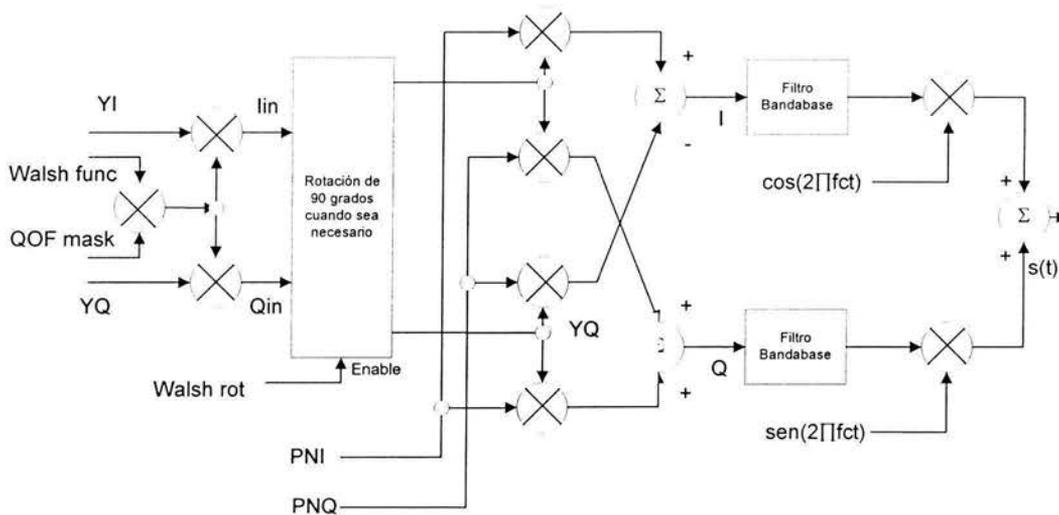


Fig. 3.34 Complex Spreading

Los “Walsh Codes” deben ser usados con RC1 y RC2. Para el caso de los RC que van del 3 al 9 se utilizan funciones cuasi-ortogonales (QOF) o “Walsh Codes”.

Cada “Code Channel” transmitido en el “Forward CDMA Channel” debe de ser “esparcido” con un “Walsh Code” o un QOF a una tasa de 1.2288 Mcps para SR1.

Los QOF son utilizados cuando se presenta el caso de la limitación en el uso de los “Walsh Codes”. Por lo tanto la implementación de este tipo de funciones permite el alcance de tasas más altas. Éstos deben de ser creados usando una función de máscara y un “Walsh Code de rotación” (Walsh_{rot}). Es decir, la secuencia repetida de un “Walsh Code” debe de ser

multiplicada por una secuencia repetida de máscaras con símbolos +1 y -1 que corresponden a los valores del “QOF mask”. La secuencia también debe ser multiplicada por una secuencia repetida de 1’s y j’s que corresponden a los valores de 0 y 1 del “Walsh Code de rotación”, respectivamente. Las “QOF masks” (QOF_{sign}) y los “Walsh Codes de rotación” ($Walsh_{rot}$) que deben ser utilizados se muestran en la Tabla 3.35.

Function	Masking Function	
	Binary Representation of QOF_{sign} (hex)	$Walsh_{rot}$
0	00000000000000000000000000000000 00000000000000000000000000000000	W_0^{256}
1	7d72141bd7d8beb1727de4eb2728b1be 8d7de414d828b1417d8deb1bd72741b1	W_{10}^{256}
2	7d27e4be82d8e4bed87dbe1bd87d41e4 4eebd7724eeb288d144e7228ebb17228	W_{213}^{256}
3	7822dd8777d2d2774beeee4bbbe11e44 1e44bbe111b4b411d2777d2227887dd	W_{111}^{256}

Tabla 3.35 QOF Masks

3.4.2 Codificación en Canales del Reverse Link

3.4.2.1 Descripción de las operaciones en el Reverse Link

Al igual que en caso del Forward Link, se indicarán las operaciones que se llevan a cabo para la generación de los Canales del Reverse Link del CDMA2000 mencionando los cambios y mejoras que conllevan al mejor desempeño del sistema con respecto a su antecesor, de esta manera se hablarán de los cambios hechos en la codificación y modulación para el sistema CDMA2000.

3.4.2.1.1 Canales Físicos del Reverse Link

La estructura del Reverse Link para el sistema CDMA2000 1x viene descrito por la siguiente Fig. 3.36.

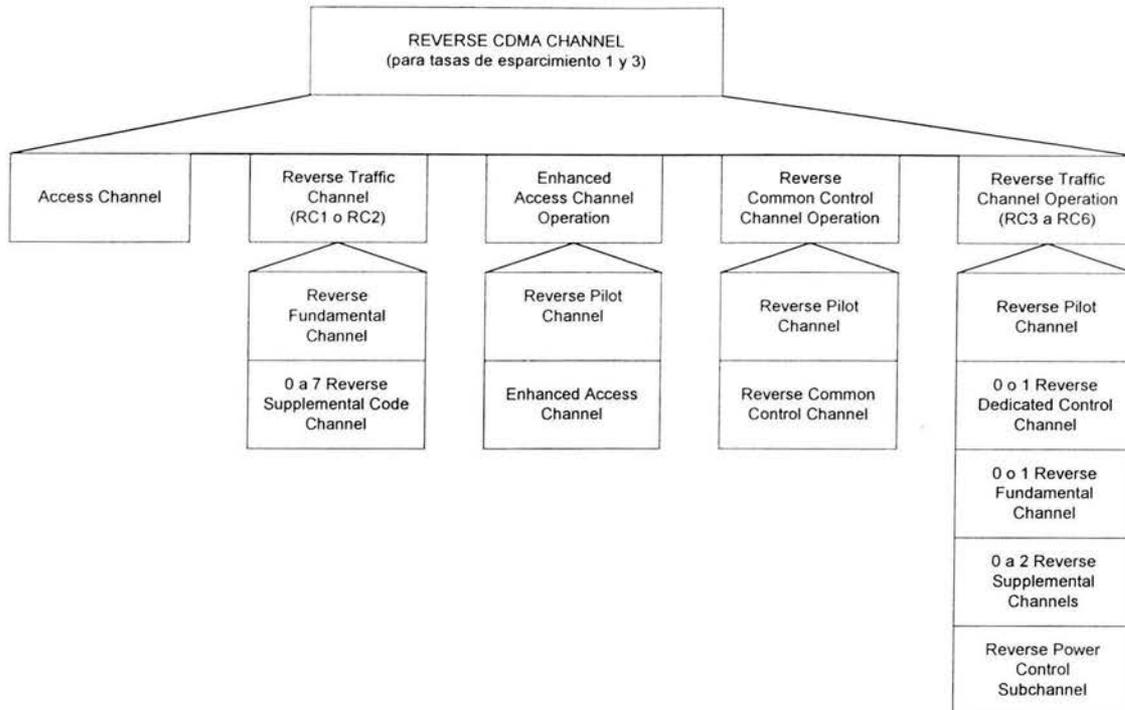


Fig. 3.36 Asignación de Canales en el Forward Link en CDMA2000

▪ **Reverse Pilot Channel (R-PICH)**

Como es el caso de una Señal Piloto, se trata de una señal de espectro esparcido producido bajo la técnica DS, la cual es transmitida continuamente por un MS, con el fin de asistir a la BS en detectar a la Unidad Terminal.

En CDMA2000 la RBS utiliza la Señal Piloto para realizar una búsqueda de multitrayectorias, “tracking”, provee una referencia de fase para la demodulación coherente, así como mide la calidad del link para propósitos de control de potencia.

El Canal Piloto consiste de un valor de referencia y de una secuencia de información conocida como “Power Control” (PC). Esta secuencia se le conoce como un subcanal de control de potencia. Este subcanal provee información en la calidad del Forward Link a una tasa de 1 bit por 1.25 ms “Power Control Group” (PCG) y es usado por los Canales del Forward Link para ajustar su potencia. (Véase Fig. 3.37).

La repetición del símbolo de control de potencia consiste en que el valor de 1 bit es constante por la duración del símbolo repetido.

La secuencia de ceros (que son mapeados a +1) y los símbolos de control de potencia que son multiplexados son enviados con el mismo nivel de potencia.

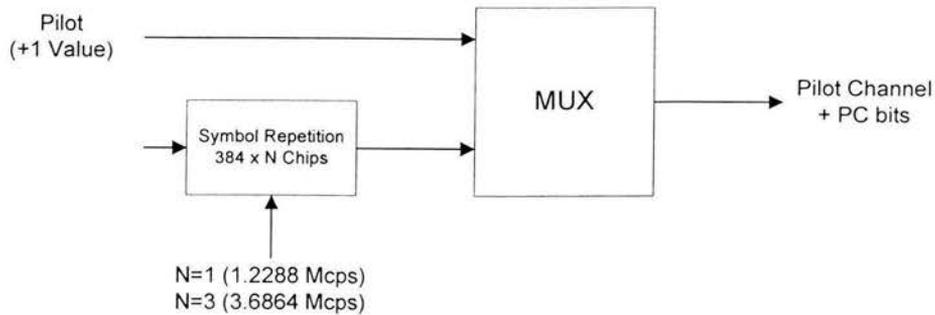


Fig. 3.37 Reverse Pilot Channel

▪ **Reverse Traffic Channels**

El sistema CDMA2000 provee dos tipos de Canales de Tráfico (Fundamental and Supplemental Channels) en el Reverse Link de tal manera que puedan ser adaptados a un tipo de servicio en particular. El uso de Fundamental y Supplemental Channels habilita al sistema de estar optimizado para múltiples servicios simultáneos. Estos canales son codificados separadamente y pasados por el “Interleaver” teniendo diferentes niveles de potencia de transmisión. Cada canal puede cargar diferentes tipos de servicio dependiendo en los diferentes escenarios de servicio.

El “Reverse Fundamental Channel” transporta datos de alto nivel e información de control. Por otro lado el “Reverse Supplemental Channel” opera conjuntamente con el “Reverse Fundamental Channel” o el “Reverse Dedicated Control Channel” para proveer servicios a altas tasas de transmisión.

a) **Supplemental Channels**

Se utilizan en los sistemas CDMA2000 (hecho que no ocurría en IS-95) con el fin de permitir una mayor flexibilidad y eficiencia en el soporte de servicios de altas tasas de datos. Adicionalmente, estos canales toman la ventaja del “Turbo Coding” y el entrelazado por multi-frame. A continuación se muestra el RC con su correspondiente Data Rate para los Supplemental Channels.

<i>RC</i>	<i>Data Rates (bps)</i>
3	307200, 153600, 76800, 38400, 19200, 9600, 4800, 2700 o 1500 (frames de 20 ms). 153600, 76800, 38400, 19200, 9600, 4800, 2400, o 1350 (frames de 40 ms). 76800, 38400, 19200, 9600, 4800, 2400, o 1200 (frames de 80 ms).
4	230400, 115200, 57600, 28800, 14400, 7200, 3600, o 1800 (frames de 20 ms). 115200, 57600, 28800, 14400, 7200, 3600, o 1800 (frames de 40 ms). 57600, 28800, 14400, 7200, 3600 o 1800 (frames de 80 ms).

Fig. 3.38 Data Rates para Reverse Supplemental Channels en CDMA2000

▪ **Reverse Common and Dedicated Control Channels**

El “Reverse Common Control Channel” es usado para la transmisión de información del usuario y de información de señalización hacia la RBS cuando los Reverse Traffic Channels no están en uso.

Este Canal del Reverse Link puede ser utilizado en dos posibles modos: “Reservation Access Mode” y “Designated Access Mode”.

El “Reverse Dedicated Control Channel” es usado para la transmisión de información de control, información del usuario, y de señalización hacia la RBS cuando un MS en específico está en estado de tráfico (por ejemplo, en una llamada). Este canal puede operar en modo DTX.

▪ **Access Channels**

a) **Enhanced Access Channel**

IS-2000 introduce dos canales adicionales para fines de acceso: “Reverse Enhanced Access Channel (R-EACH)” y “Reverse Common Control Channel (R-CCCH)”. Este estándar también define dos nuevos modos de operación.

- a) Modo básico.
- b) Modo reservado.

El “Enhanced Access Channel” se encarga de transmitir mensajes cortos, tales como de señalización, mensajes correspondientes a la Subcapa MAC, respuesta a funciones de “paging” y la inicialización en la comunicación con la BS. También puede ser utilizado para transmitir paquetes de datos de tamaño moderado.

Ambos canales permiten a los MS que empiecen su transmisión solamente en los límites de predefinidas ranuras de tiempo que son múltiplos de 1.25 ms. El tamaño del slot es definido por el parámetro EACH_SLOT. A diferencia del estándar IS-95A/B, la máscara del “Long Code” del R-EACH es dependiente del tiempo. Los últimos 9 bits del R-EACH del “Long Code” es llamado SLOT_OFFSET y este parámetro cambia a cada límite de cada slot, proporcionando separación entre los usuarios que empiezan sus transmisiones a diferentes slots. Consecuentemente, mientras la información de un usuario es decodificada satisfactoriamente, el mensaje llega a otros MS sin causar colisiones. Este proceso proporciona un mejor desempeño en la evasión de colisiones comparado con el esquema usado en IS-95.

3.4.2.1.2 Estructura de Canales para codificación y modulación para RC en SR1

Las características en las que se basan los RC para el SR1, los cuales permiten el soporte progresivo con el manejo de altas tasas de datos empleando “Walsh Codes” de longitud variable así como tasas de codificación variables, son las siguientes:

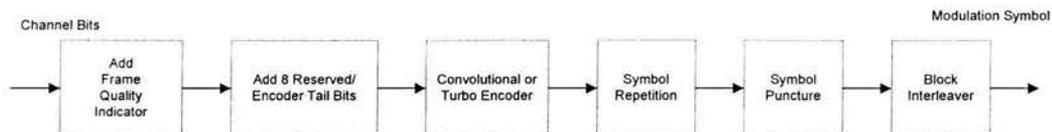
- a) RC1. Soporta compatibilidad con IS-95B para el RS1.
- b) RC2. Soporta compatibilidad con IS-95B para el RS2.

- c) RC3. Soporta tasas que van de 1200 bps a 307.2 kbps utilizando un $R=1/4$ o $R=1/2$ (FEC) para RS1.
- d) RC4. Soporta tasas que van de 1800 bps a 230.4 kbps utilizando un $R=1/4$ (FEC) para RS2.

RC	SR	Data Rates, FEC and General Characteristics
1	1	1200, 2400, 4800 and 9600 bps data rates with $R=1/3$, 64-ary orthogonal modulation.
2	1	1800, 3600, 7200, and 14400 bps data rates with $R=1/2$, 64-ary orthogonal modulation.
3	1	1200, 1350, 1500, 2400, 2700, 4800, 9600, 19200, 38400, 76800, and 153600 bps data rates with $R=1/4$, 307200 bps data rate with $R=1/2$, BPSK modulation with a pilot.
4	1	1800, 3600, 7200, 14400, 28800, 57600, 115200, and 230400 bps data rates with $R=1/4$, BPSK modulation with a pilot.
5	3	1200, 1350, 1500, 2400, 2700, 4800, 9600, 19200, 38400, 76800, and 153600 bps data rates with $R=1/4$, 307200 and 614400 bps, BPSK modulation with a pilot.
6	3	1800, 3600, 7200, 14400, 28800, 57600, 115200, 230400, and 460800 bps data rates with $R=1/4$, 1036800 bps data rate with $R=1/2$, BPSK modulation with a pilot.

Fig. 3.39 Características de los RC para el Reverse CDMA Channel

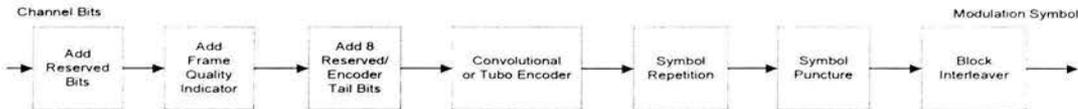
Las Estructuras de Canales para los RC3 y RC4 están determinadas por las Fig. 3.41 y 3.42.



Bits/Frame	Bits	Data Rate (kbps)	R	Factor	Deletion	Symbols	Rate (ksps)
24 Bits/5ms	16	9.6	1/4	2x	None	384	76.8
16 Bits/20 ms	6	1.5	1/4	16x	1 of 5	1536	76.8
40 Bits/20n ms	6	2.7/n	1/4	8x	1 of 9	1536	76.8/n
80 Bits/20n ms	8	4.8/n	1/4	4x	None	1536	76.8/n
172 Bits/20n ms	12	9.6/n	1/4	2x	None	1536	76.8/n
360 Bits/20n ms	16	19.2/n	1/4	1x	None	1536	76.8/n
744 Bits/20n ms	16	38.4/n	1/4	1x	None	3072	153.6/n
1512 Bits/20n ms	16	76.8/n	1/4	1x	None	6144	307.2/n
3048 Bits/20n ms	16	153.6/n	1/4	1x	None	12288	614.4/n
6120 Bits/20n ms	16	307.2/n	1/2	1x	None	12288	614.4/n

n=longitud del frame en múltiplos de 20 ms.

Figs. 3.40 Estructura del "Reverse Fundamental Channel" y del "Reverse Supplemental Channel Structure" para RC3



Bits/Frame	Bits	Bits	Data Rate (kbps)	R	Factor	Deletion	Symbols	Rate (ksps)
24 Bits/5ms	0	16	9.6	1/4	2x	None	384	76.8
21 Bits/20 ms	1	6	1.8	1/4	16x	8 of 24	1536	76.8
55 Bits/20n ms	1	8	3.6/n	1/4	8x	8 of 24	1536	76.8/n
125 Bits/20n ms	1	10	7.2/n	1/4	4x	8 of 24	1536	76.8/n
267 Bits/20n ms	1	12	14.4/n	1/4	2x	8 of 24	1536	76.8/n
552 Bits/20n ms	0	16	28.8/n	1/4	1x	4 of 12	1536	76.8/n
1128 Bits/20n ms	0	16	57.6/n	1/4	1x	4 of 12	3072	153.6/n
2280 Bits/20n ms	0	16	115.2/n	1/4	1x	4 of 12	6144	307.2/n
4584 Bits/20n ms	0	16	230.4/n	1/4	1x	4 of 12	12288	614.4/n

n=longitud del frame en múltiplos de 20 ms.

Fig. 3.41 Estructura del “Reverse Fundamental Channel” y del “Reverse Supplemental Channel Structure” para RC4

3.5 Eficiencias del Forward Link en CDMA2000 1x

Debido a las limitaciones del diseño del Forward Link para IS-95B, se proveen las bases para introducir nuevos canales y mejoras en el sistema CDMA2000. Entre las mejoras implementadas se encuentran las siguientes.

- Soporte de “Chip Rates” de $N \times 1.2288 Mcps$ (donde $N=1,3,6,9,12$).
- Modulación QPSK dobla la capacidad del “Walsh Channel”.
- Soporta altas tasas para conmutación de circuitos y conmutación de paquetes.
- Los Canales de Control (Control Channels) proveen frames de 5 ms y 20 ms para ofrecer servicio de “quick messaging” y mejora del parámetro QoS.
- Soporte de “Turbo Coding” y de Códigos convolucionales para un alto desempeño en codificación FEC.
- La modalidad “Transmit Diversity” provee una mejora significativa en la “Capacidad” y “Cobertura” para algunos ambientes.
- Soporte de canalización no ortogonal en el Forward Link utilizando Funciones Cuasi-Ortogonales (QOF).

3.6 Eficiencias del Reverse Link en CDMA2000 1x

En forma de síntesis, las características primordiales del Reverse Link para CDMA2000 son las siguientes:

- Son usados canales por separado para proveer diferentes QoS y características de la Capa Física.
- La transmisión es continua para evitar interferencia electromagnética.
- Los canales son ortogonalizados por “Walsh Codes” y por la separación del stream para modulación en cuadratura (Canales I y Q) de tal manera que el desempeño sea equivalente a BPSK.

- Restringiendo los cambios alternados de fase de la secuencia compleja del “scrambling”, el nivel de potencia es reducida (aproximadamente en 1 dB) y con ello los lóbulos laterales son reducidos en el espectro.
- Los “Walsh Codes” son utilizados para separar los Canales Físicos. Códigos convolucionales con un “constraint length” igual a 9 son usados tanto para voz como para datos.
- Turbo Encoders paralelos con un “constraint length” igual a 4 son usados para tasas altas de datos en los “Supplemental Channels”.
- Dispone de un control de potencia rápido a 800 Hz.
- Frames de 20 ms son usados para propósitos de señalización y para transporte de información del usuario.
- Frames de 5 ms son usados para información de control.

Capítulo 4

**Diseño de infraestructura en CDMA, Técnicas de Operación y Mantenimiento
y Parámetros adicionales 3G**

4.1 Cobertura y Capacidad

La planeación para el diseño de una Red Celular de un Sistema de Tercera Generación difiere al de Segunda Generación, éste último basado en el esquema TDMA, y que de acuerdo a las necesidades y perspectivas de mercado los proveedores emigrarán a este esquema de “Cobertura”.

Para los esquemas TDMA, la planeación se puede realizar en dos fases: “Coverage Planning Phase” y “Frequency Planning Phase” los cuales están relacionados con los conceptos de “Cobertura” y “Capacidad” respectivamente.

Para la primera fase, las RBS son ubicadas de tal forma que el nivel de la señal sea aceptable en el Sector para las cuales éstas se desempeñan. En la segunda fase, cada RBS le es asignada un cierto número de canales, entonces el operador de la red toma en cuenta la carga de tráfico, las mediciones en los niveles de servicio así como el monitoreo en el nivel de la razón SNR o Señal a Ruido.

Para los sistemas CDMA, este esquema de planeación ya no aplica, ya que esta tecnología y su principio de operación se basan en el acceso a un número múltiple de usuarios en un mismo rango de frecuencias al mismo tiempo, por lo que la etapa de “Frequency Planning Phase” se descarta. Además los conceptos de “Cobertura” y “Capacidad” que se aplican para el diseño de la red no se deslindan para los Sistemas de Tercera Generación y debido a que estos conceptos analíticamente se contraponen se debe de buscar una optimización que satisfaga los requerimientos del sistema.

Por lo antes mencionado, la planeación de la red de un Sistema de Tercera Generación se divide en tres partes: La Fase Inicial (donde se obtiene la dimensión del sistema), Detalles de Planeación, y finalmente Fase de Optimización y Monitoreo. Cada una de estas fases requiere consideraciones adicionales tales como mediciones de propagación, medidas de demanda de tráfico y otros. El proceso de Planeación se ilustra en la Fig. 4.1.

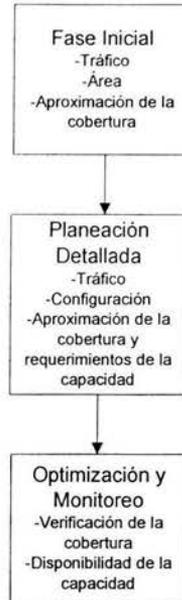


Fig. 4.1 Sistema de Planeación en un sistema de 3G

La “Cobertura” que abarca una RBS en un Sistema Celular es la zona para la cual una RBS tiene operación con los MS que transitan por ésta, es decir, es el área geográfica en la cual un MS se comunica con el receptor de la RBS con el apropiado nivel de la señal para satisfacer los requerimientos del servicio. La “Capacidad” de un determinado sector dentro de un Sistema Celular es el número de usuarios móviles que pueden tener acceso simultáneamente hacia la RBS con un aceptable nivel de interferencia mutua.

Los factores tanto de “Cobertura” como de “Capacidad” es indispensable conocerlos ya que determinan el diseño de un Sistema Celular. El objetivo del diseño radica en maximizar los términos de “Cobertura”, “Capacidad”, y el QoS.

4.1.1 Límites de la Cobertura

La “Cobertura” de las RBS va a estar determinada por el número de RBS que son requeridas para proveer el servicio dentro de un área geográfica. Para un determinado MS, el máximo rango permitido entre éste y la RBS viene dado por la “sensibilidad” (sensitivity) del receptor de la RBS, caracterizado por la cantidad de potencia que puede ser transmitido por el MS.

En otras palabras la sensibilidad de la RBS estará determinada por el nivel de la señal que es requerido para tener un valor dado de SNR en la entrada del receptor.

Es bien sabido, que la “Cobertura” de un “Sector Celular” tiene una relación inversa con la “Capacidad” de usuarios para el mismo sector. Un incremento en el número de usuarios de dicho sector provoca un incremento de la interferencia total a la entrada del receptor de la RBS. Esto conlleva a un aumento en el nivel de potencia que tiene que ser transmitido por la RBS con el fin de mantener un cierto nivel de SNR para cumplir con los requerimientos del sistema.

Para un valor máximo permisible de transmisión, un incremento en el nivel de la recepción resultará en un decremento en la máxima distancia para la cual un MS pueda tener comunicación con la RBS, conllevando a que la “Cobertura” se vea reducida.

La “Capacidad” de un Sector está limitada por la cantidad de interferencia mutua que exista entre los MS de dicho sector, siempre y cuando esta se encuentre debajo de un “umbral” con el objetivo de ofrecer una “Cobertura” satisfactoria al Sector y disponer de una comunicación óptima entre las RBS y los MS, manteniendo un margen establecido dado por los fenómenos del “shadowing¹” y “fading” que vienen produciendo pérdidas en la señal.

Aunado a esto, otros factores intervienen para la compensación entre “Cobertura” y “Capacidad” incluyendo ganancias debido a la Diversidad y procesamiento de multitrayectorias, control de codificación de errores, “Soft HandOff”, etc.

Para llevar a cabo la determinación de la densidad de las RBS para desempeñar su operación en un Sector, se considera el siguiente procedimiento tomando en cuenta la densidad de tráfico ofrecido:

- Determinación del valor del margen del Link que se necesita para mantener una comunicación aceptable entre el MS y el RBS.
- Determinación de las ganancias o pérdidas en un sistema multicelular debido al procesamiento del “Handoff”.
- Relación del SNR recibido con la carga de tráfico.
- Encontrar la probabilidad de bloqueo en función de la carga del tráfico.
- Determinación del incremento del “margen” requerido contra la carga de tráfico.
- Encontrar el Radio del Sector Celular como función de la carga de tráfico y convertir la densidad de las RBS como una función de la densidad de tráfico.

4.1.2 Clasificación de las categorías destinadas al Servicio Celular

El área de “Cobertura” destinado al servicio celular es clasificada en cuatro categorías las cuales son: Áreas metropolitanas, Áreas Urbanas, Áreas Suburbanas y Áreas Rurales. Estas categorías son establecidas de acuerdo a las características de propagación de la señal, la densidad de suscriptores existente y la “Capacidad” que se requiere brindar de acuerdo al número de suscriptores.

Es claro observar que de acuerdo a los obstáculos que existan para una determinada área se van a tener diferentes valores de atenuaciones para la señal que se propague la cual mantiene la comunicación entre la RBS y el MS. Por lo tanto, es importante categorizar el área a la cual se le vaya a destinar el servicio, con el fin de plantear los niveles de SNR y potencia adecuados.

¹**Shadowing:** Fenómeno que es provocado cuando un MS tiene su traslado entre obstáculos (por ejemplo: edificios) y se experimenta una reducción significativa en el nivel de la potencia recibida.

<i>Categoría</i>	<i>Descripción</i>
Áreas Metropolitanas	Áreas que cubren una gran densidad de edificios de más de 10 pisos. La densidad de la población es igual a 2000 suscriptores/milla ² .
Áreas Urbanas	Áreas que cubren edificios de 5 a 10 pisos. La densidad de la población va de 7500 a 20000 suscriptores/milla ² .
Áreas Suburbanas	Áreas que cubren casas de 1 a 2 pisos y en general construcciones entre 2 a 5 pisos (oficinas). La densidad de la población va de 500 a 7500 suscriptores/milla ² .
Áreas Rurales	Áreas de espacios abiertos en donde hay pocas construcciones. Las existentes van de 1 a 2 pisos (casas). La densidad de la población esta por debajo de los 500 suscriptores/milla ² .

Tabla 4.2 Clasificación de categorías para los Sectores Celulares

Una vez que el área destinada al servicio haya sido categorizada, se tienen que realizar pruebas que evalúen la atenuación sufrida por la señal. El diseñar un sistema CDMA, no sólo va a depender del nivel de la señal sino también de la calidad de la misma. Por ejemplo, en cdmaOne[®] el sistema tiene que ser diseñado para que la relación $\frac{E_b}{I_r}$ esté en el rango de 5 a 7 dB, con el fin de conseguir el 1% o menos en el “Frame Error Rate” (FER) para producir una llamada con un grado de calidad aceptable. Por lo tanto la elección de un valor de $\frac{E_b}{I_r}$ tiene un impacto significativo sobre el costo del sistema ya que afecta tanto a la “Capacidad” del mismo como el número total de Sectores Celulares.

Para cada área categorizada, se debe de escoger una configuración que rijas sobre el Sector Celular. Generalmente se utilizan torres de 300 pies con antenas de alta ganancia en zonas rurales. Por otro lado, torres con una altura media de 150 a 200 pies son utilizadas en áreas suburbanas. Finalmente para áreas urbanas y metropolitanas se utilizan torres pequeñas con antenas de poca ganancia.

4.1.3 Potencia manejada en los Canales de CDMA y repercusión en la razón $\frac{E_b}{I_r}$

En el sistema cdmaOne[®], las RBS transmiten las señales respectivas de los Canales Pilot, Sync y Paging. Estas señales permiten al MS medir la calidad de la señal recibida lo cual es importante para el manejo de los “Soft Handoffs”.

Típicamente los valores de potencia manejados (sobre un valor P total) que son destinados a los canales del sistema IS-95 o CDMA2000 en el Forward Link son los siguientes:

- Pilot Channel: 0.15P a 0.20P.
- Sync Channel: 0.02P.
- Paging Channel(s): 0.06P a 0.07P.
- Traffic Channel(s): 0.71P a 0.77P.

Cuando pocos son los Canales de Tráfico activados o son nulos, la potencia transmitida en la portadora tiene que ser reducida provocando que la potencia destinada a los Canales de Tráfico también decaiga. Sin embargo, la razón entre las señales Pilot, Sync y Paging se tiene que mantener. La siguiente Fig. 4.3, muestra en diagrama de bloques, el transmisor del Forward Link. Nótese que las ganancias afectan individualmente a cada canal mientras que la influencia del atenuador del combinador llamado como BCR (Baseband Combiner Radio) afecta a todos los canales. Si durante la optimización del nivel de SNR, la potencia en cada canal es alterada mediante el control del BCR entonces todos los niveles de potencia de los canales son reducidos con el fin de preservar la misma relación. Es decir la potencia máxima empleada y la potencia de la Señal Piloto tiene que ser cambiada por la misma razón con el fin de conservar el $\frac{E_b}{I_t}$.

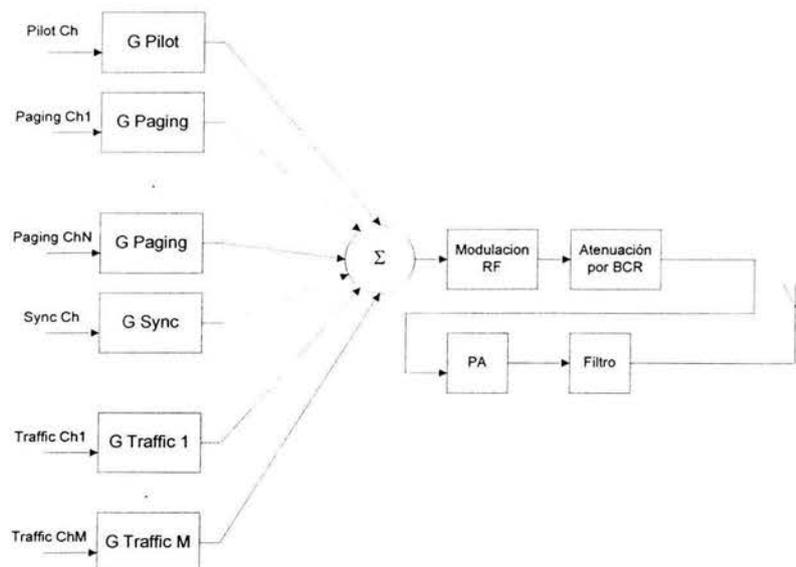


Fig. 4.3 Transmisor del Forward Link para un sistema CDMA

4.1.4 Confiabilidad de la Cobertura

La mayoría de los diseños en los sistemas CDMA permiten para un “log-normal fading” (“fading” que describe una distribución lognormal) una desviación estándar de 8 dB. A veces es considerada una desviación estándar de 12 dB para incluir los efectos de penetración de la señal en construcciones que provocan una atenuación adicional de la misma. Un margen de 8 dB es adecuado para brindar una “Cobertura” del 90% del Sector Celular y un porcentaje del 75% para el perímetro o frontera de dicho Sector. Los Sectores Celulares son diseñados de un 10% a 15% de sobreposición de “Cobertura” para tomar en consideración el “cell breathing²”.

²**Cell breathing:** Es el cambio constante en el rango de un área geográfica cubierta por la BS basado en la cantidad de tráfico que le está dando soporte la BS. Cuando un Sector Celular tiene mucha carga de tráfico entonces es redirigida hacia un Sector Celular vecino que tenga menos carga con el fin de obtener un balance en la carga de tráfico.

4.1.5 Cálculo de la razón SNR en el Reverse Link

Para el cálculo de la razón SNR en el Reverse Link de un Sistema de Telefonía Celular típicamente envuelve los siguientes componentes. (Un signo “+” a lado de la descripción de cada componente significa que contribuye a la Ganancia total del sistema mientras que un signo “-” a lado de cada descripción contribuye a las Pérdidas).

+	Potencia transmitida por el MS	P_m
+	Ganancia de la antena transmisora del MS	G_m
-	Atenuación a causa de pérdidas por propagación de la señal, en función de la distancia d.	$L_{med}(d)$
+	Ganancia de la antena receptora de la RBS (dBi)	G_c
-	Pérdidas en cableado (dB)	L_{rc}
-	Ruido e interferencia introducidos por otros MS (dBm)	$(N+I)_c$
+	Ganancia de procesamiento en el receptor (dB)	PG
=	SNR recibido (dB) (valor de la mediana)	SNR_{med}
-	SNR requerido (dB)	SNR_{req}
=	Margen de sobrepaso para el SNR (dB)	M_{dB}

Es necesario obtener las pérdidas por propagación de la señal en el medio con el fin de definir el Límite de la “Cobertura” de nuestro Sector Celular.

Determinando este valor se permitirá realizar un plan para la localización de los Sectores Celulares con el fin de brindar el servicio dentro de un área determinada.

La siguiente ecuación (Ec. 4.4) relaciona los términos antes ilustrados, con el fin de obtener el valor máximo de atenuación para un SNR requerido.

$$SNR_{med} = P_m + G_m - L_{med} + G_c - L_{rc} - (N + I)_c \succ SNR_{req} + M_{dB}$$

(Ec. 4.4)

De donde L_{med} (valor de la mediana) queda expresado como:

$$L_{med} \prec L_{mmx} = P_m + G_m + G_c - L_{rc} - (N + I)_c - SNR_{req} - M_{dB}; L_{mmx} = \text{Atenuación máx}$$

(Ec. 4.5)

4.1.6 Cálculo del Ruido en el Receptor

La cantidad de ruido térmico del receptor es calculado a partir de la Figura de Ruido, para ello recurrimos a la Ec. 4.6:

$N_0 =$ Densidad espectral de potencia de ruido en el receptor

$$N_0 = kT_0F$$

(Ec. 4.6)

donde k es la constante de Boltzman, T_0 es la Temperatura de ruido de referencia y F es la Figura de ruido.

Suponiendo que:

$$k = 1.38 * 10^{-23} \left[\frac{J}{^\circ K} \right]$$

$$T = 293^\circ K$$

y sustituyendo los valores en la Ec. 4.7 se tiene que:

$$N_0 (dB) = -203.9 \left[\frac{dBW}{Hz} \right] + NF [dB]$$

(Ec. 4.7)

4.1.7 Phase Planning

Una vez establecidos los siguientes puntos: “Link Budget³” (el cual considera las pérdidas y ganancias sobre la interfaz de aire), la configuración para el Sector Celular, y los parámetros de propagación; es posible calcular la “Cobertura” de un Sector Celular determinando el Radio de la célula. A pesar de que el Radio calculado no será preciso de acuerdo a las variantes existentes en la topografía de los terrenos, provee una idea más o menos generalizada del área que una célula puede satisfacer los requerimientos del sistema. Con esta medida, se puede tener una idea del número total de células que se deben utilizar para el área categorizada. Posteriormente un Software (descrito en el presente Capítulo), que se basa en modelos de propagación, es utilizado para considerar en este sentido, las características del terreno, y de esta manera obtener una redefinición en la configuración de los Sectores Celulares.

La optimización de un sistema CDMA tiene varios parámetros de libertad que permiten manipular la “Cobertura” del sistema en el diseño preliminar sin la necesidad de mover los Sectores Celular en el sentido físico.

³**Link budget:** Es el cálculo representado por la suma de las ganancias y pérdidas sobre la trayectoria inalámbrica definida por el MS y la BS. Se tiene que tener un nivel aceptable de la señal en la entrada del receptor para que resulte en un mejor desempeño del enlace.

4.1.8 Load Factors en el Reverse Link y en el Forward Link de CDMA

▪ **Load Factor en el Reverse Link**

Se define la relación $\left(\frac{E_b}{I_t}\right)_i$ para el usuario i-ésimo como:

$$\left(\frac{E_b}{I_t}\right)_i = \frac{R_c}{R_i \cdot v_i} \frac{S_i}{I_{total} - S_i}$$

(Ec. 4.8)

donde

R_c = Chip Rate.

S_i = Potencia recibida del i-ésimo usuario.

v_i = Factor de actividad del canal para el i-ésimo usuario.

R_i = Bit Rate para el i-ésimo usuario.

I_{total} = Potencia total recibida, la cual incluye la potencia del ruido térmico en la RBS.

Ahora considerando que $S_i = \phi_i \cdot I_{total}$ y despejando la variable ϕ_i de ésta ecuación para que posteriormente se sustituya en la Ec. 4.8 se tiene que:

$$\phi_i = \frac{1}{1 + \frac{R_c}{\left(\frac{E_b}{I_t}\right)_i \cdot R_i \cdot v_i}}$$

(Ec. 4.9)

donde ϕ_i se le conoce el “Load Factor” para la conexión i-ésima.

La potencia total recibida, excluyendo el ruido térmico N_T puede ser expresado como la suma de las potencias recibidas de los M usuarios del mismo Sector Celular.

$$I_{total} - N_T = \sum_{i=1}^M S_i = \sum_{i=1}^M \phi_i \cdot I_{total}$$

(Ec. 4.10)

Si se define el concepto de “Noise-Rise” como la razón de la potencia total recibida sobre la potencia de ruido térmico se tiene que:

$$Noise - Rise = \frac{I_{total}}{N_T}$$

(Ec. 4.11)

Si se consideran las dos expresiones previamente (Ecs. 4.10 y 4.11) obtenidas se tiene que:

$$\text{Noise - Rise} = \frac{I_{total}}{N_t} = \frac{1}{1 - \sum_{i=1}^M \phi_i} = \frac{1}{1 - \eta_{UL}}$$

(Ec. 4.12)

Como se puede observar:

$$\eta_{UL} = \sum_{i=1}^M \phi_i$$

(Ec. 4.13)

Cuando η_{UL} se aproxima a 1 entonces el “Noise-Rise” tiende a infinito y el sistema alcanza su “pole-capacity⁴”, la cual sirve como parámetro para decidir si más usuarios se deben agregar a un sector determinado, así como en la determinación del margen de tolerancia de interferencia para otorgar un servicio óptimo. Por otra parte, la interferencia de otros Sectores Celulares debe de tomarse en cuenta en el “Load Factor”. Para ello se define:

$$\beta = \frac{\text{Interferencia - extracelular}}{\text{Interferencia - intracelular}}$$

(Ec. 4.14)

Considerando el término β , el “Load Factor” queda definido como:

$$\eta_{UL} = (1 + \beta) \sum_{i=1}^M \phi_i = (1 + \beta) \sum_{i=1}^M \frac{1}{1 + \frac{R_c}{\left(\frac{E_b}{I_t}\right) \cdot R_i \cdot v_i}}$$

(Ec. 4.15)

▪ Load Factor para el Forward Link

El Load Factor η_{DL} guarda cierta similitud con el del Reverse Link. Esta similitud estriba en que ambos cuando tienden a la unidad, el sistema se aproxima a su “pole-capacity⁴” mientras que el “Noise-Rise” tiende a infinito.

El η_{DL} queda definido como:

$$\eta_{DL} = \sum_{i=1}^M v_i \frac{\left(\frac{E_b}{I_t}\right)_i}{\frac{R_c}{R_i}} \cdot [(1 - \phi_i) + \beta_i]$$

(Ec. 4.16)

⁴**Pole capacity:** Capacidad teórica definida por la suposición en que los MS involucrados, transmitirían los canales a una potencia infinita.

Donde β_i es la interferencia de la célula i -ésima sobre la interferencia intracelular.

Para el dimensionamiento debido al Forward Link es importante estimar la potencia total transmitida por la RBS. Para ello se recurre a la potencia promedio transmitida hacia el usuario. Ésta se obtiene a través de la atenuación promedio que sufre la señal que viaja desde el transmisor de la RBS hacia el MS. Definamos esta cantidad como L_{prom} . Asimismo, es necesario considerar la sensibilidad del MS en ausencia de interferencia intracelular o fuera de la célula, y se debe de tomar en cuenta el “Noise-Rise” para que finalmente se establezca la Ec. 4.17.

$$T_x P = \frac{N_{rf} \cdot R_c \cdot L_{prom} \cdot \sum_{i=1}^M v_i \frac{\left(\frac{E_b}{I_r}\right)_i}{\frac{R_c}{R_i}}}{(1 - (\eta_{DL})_{prom})}$$

(Ec. 4.17)

Donde $T_x P$ es la Potencia transmitida por la RBS hacia el MS.

N_{rf} = Densidad espectral de ruido en el receptor del MS.

k y T las cuales ya se definieron anteriormente son la constante de Boltzmann y la Temperatura en Kelvin respectivamente.

N_f = Figura de ruido del MS con valores que van de 5 a 9 dB.

El $(\eta_{DL})_{prom}$ puede ser encontrado si se consideran los valores promedios tanto de φ como de β .

En un sistema CDMA, la “Capacidad” del Forward Link viene a estar limitada por la potencia disponible para el Forward Link. El control de sobrecarga del Forward Link se asegura que cuando los umbrales se hayan alcanzado, no más usuarios sean agregados al sistema. Por otro lado, la “Capacidad” del Reverse Link estará limitado por la cantidad tolerable de interferencia. El control de sobrecarga del Reverse Link se asegura que cuando los niveles de interferencia estén llegando a un umbral intolerable, entonces no se deben ser agregar más usuarios al sistema.

4.2 Planificación de los PN-Offsets para CDMA

Cuando se estudiaron los “PN Codes” en el Capítulo referente a Modulación y Técnicas de Codificación para sistemas CDMA se mencionó que para los “Physical Channels” se utilizaban secuencias pseudoaleatorias de longitud 2^{15} Chips. De hecho, cada “Physical Channel” utiliza la misma secuencia con la distinción de que cada secuencia utiliza un offset distinto. Un MS diferencia las señales piloto por medio del “PN Offset”. Por ello una planificación correcta de los offsets es necesaria para evitar un “aliasing⁵” de las secuencias pseudoaleatorias.

⁵**Aliasing:** Rango de frecuencias no deseadas que son producidas cuando las armónicas de una señal son muestreadas por un dispositivo digital a una frecuencia debajo de la frecuencia de Nyquist.

En el caso del sistema IS-95, el primer parámetro que se tiene que determinar es el PILOT_INC. Una magnitud grande de éste incrementará la distancia entre cada uno de los offsets, reduciendo con ello el número válido de “PN Offsets” y por lo tanto la distancia de reuso también se verá afectada (decrementándose). Si se analiza por el lado contrario, es decir, si se utiliza una magnitud pequeña del PILOT_INC, entonces se obtendrán los resultados inversos a los previamente descritos.

En el sistema IS-95 se tiene que cumplir la siguiente relación para la obtención de resultados válidos:

$$PILOT_INC \times 64 > \max\{W_R, W_N\}$$

(Ec. 4.18)

Donde W_R y W_N son los tamaños de las ventanas de búsqueda que más adelante se definirán.

La longitud de un “PN Code” es, como se había dicho, de 2^{15} chips. Un cambio de 1 chip corresponde una distancia recorrida de 244 m $[(1/1.2288 \times 10^6 \text{ s}) \times (3 \times 10^8 \text{ m/s})]$. Un valor óptimo de separación es de 64 chips. Cada PN utilizable se convierte en un “PN Offset” y de esta manera se habilitan 512 “PN Codes” $(32,768/64=512)$. La separación puede ser incrementada con el PILOT_INC tal como se ha definido. Si el PILOT_INC es 1 entonces la mínima separación es de 64 chips. Si su valor es de 2 entonces la distancia será de 128 chips y así sucesivamente. Por lo tanto el número de los “PN Codes” utilizables viene dado por la Ec. 4.19:

$$(PN)_{total} = \frac{32768}{(PILOT_INC) \cdot 64}$$

(Ec. 4.19)

Ahora considérese el caso de dos sectores denominados como A y B con el mismo “PN Offset”. El Sector A está cerca del MS y es incluido en el “neighbor-list⁶”. El Sector B no está incluido en éste, sin embargo, debido a diferentes orientaciones de la antena o a condiciones del terreno, el nivel de la señal del sector B es mucho más fuerte que el nivel de la señal del sector A. Si la Señal Piloto del sector B cae dentro de la “neighbor-window” del MS (W_N), entonces el MS va a confundir la Señal Piloto B como si fuera la Señal Piloto A y por lo tanto se realizaría un “Handoff” hacia el sector A mediante el “Despreading” de la señal del sector B. Esto traerá como consecuencia en una fuerte interferencia del Forward Link.

En una red donde la mayoría de los Sectores Celulares tienen el mismo tamaño, la planeación del “PN Offset” se vuelve sencillo. Sin embargo, para una red típica real, los Sectores celulares en áreas rurales son mucho más grandes que los respectivos a áreas urbanas, para estas redes el “Co-PN Offset Alias” es la mayor problemática con la que el diseñador se confronta (Sectores Celulares pequeños) mientras que el “Adjacent PN Offset Alias” es un conflicto que se tiene en los Sectores Celulares grandes.

⁶*Neighbor-list: Véase Neighbor-Set, en este Capítulo.*

4.2.1 Adjacent PN Offset Alias

Considérense dos RBS, i y j , que están utilizando “PN Codes” adyacentes (“PN Codes” separados, por ejemplo, mediante un PILOT_INC igual a 1). El MS m está localizado en el límite de la “Cobertura” de la RBS j . La distancia entre el MS m y la RBS j es tal que el retardo en la propagación es de Y chips. La distancia entre el MS m y la RBS i es tal que el retardo en la propagación es X chips. (Véase Fig. 4.20).

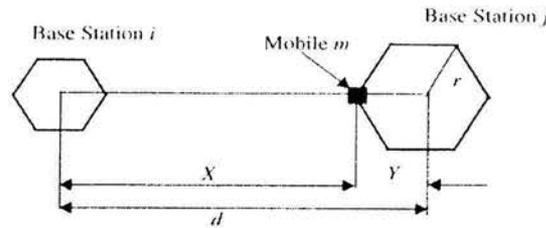


Fig. 4.20 Dos RBS y un MS

Ahora analicemos en el dominio del tiempo como entran en operación los “PN Codes”. “PN Code” i y “PN Code” j no están alineados en tiempo cuando son transmitidos desde su respectiva RBS. Existe una separación de I chips entre ellos. El “PN Code” i experimenta un retraso de X chips antes que sea recibido por el MS m , mientras que el “PN Code” j está sujeto a un retardo de Y chips antes que sea recibido por el MS. Debido a que el MS m está en comunicación con la RBS j , el SRCH_WIN_A (Ventana de Búsqueda) está centrada para recibir el “PN Code” j . Si el “PN Code” i , al ser recibido, cae en SRCH_WIN_A del MS entonces éste asumirá que se trata de una componente multitrayectoria del “PN Code” j . Debido a que el alias del “PN Code” i llega antes que el “PN Code” j el MS debe de mover el SRCH_WIN_A para centrar al “PN Code” i y tratar de demodular ambas señales piloto. El resultado será una interferencia que se refleja en una conexión no exitosa.

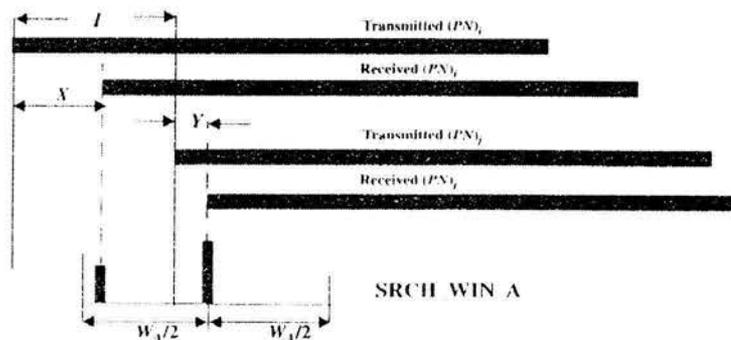


Fig. 4.21 PN Codes en el dominio del tiempo

Para evitar los “PN Offset Alias” entonces se debe de guardar la siguiente relación. (Véase Ec. 4.22).

$$d < 244I - 122W_A + 2r \quad (\text{Ec. 4.22})$$

donde:

d = separación en m.

r = radio de la RBS j en m.

W_A = medida en chips del SRCH_WIN_A.

4.2.2 Co-PN Offset Alias

Refiérase a la Fig. 4.24, en donde el Sector A y el Sector B utilizan el mismo “PN Offset”. El “Co-PN Offset Alias” va a ocurrir si las señales pilotos de dos diferentes Sectores caen en el mismo SRCH_WIN_A de un MS y ambos llegan a ser uno de los tres componentes más fuertes de la señal. Si una Señal Piloto se propaga una distancia más grande que la otra, entonces la diferencia en el retardo de propagación causa que la Señal Piloto remota no caiga dentro del SRCH_WIN_A del MS y con ello el “Co-PN Offset Alias” se evita. Asíumase que la distancia entre los Sectores Celulares A y B es D .

El MS se localiza entre dichos Sectores y su distancia con respecto al Sector que le brinda el servicio (A) es d_h . La distancia hacia el Sector Celular remoto (B) es $D-d_h$. Para asegurar que la Señal Piloto remota no caiga dentro del SRCH_WIN_A entonces se necesita que:

$$d \geq 122W_A + 2r$$

(Ec. 4.23)

donde:

d = separación en m.

r = radio de “Cobertura” de la RBS que da el servicio al MS.

W_A = tamaño del SRCH_WIN_A en chips.

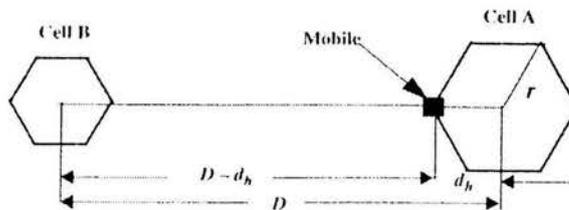


Fig. 4.24 Ilustración del Co-PN Offset Alias

Cuando los Sectores A y B tienen diferentes radios r entonces en la ecuación anterior se debe de utilizar el radio máximo. Asumiendo que el número de Sectores Celulares en un clúster (para el reuso de los “PN Codes”) se define como K , la distancia de reuso será:

$$d_c \approx r\sqrt{3K}$$

(Ec. 4.25)

Los Sectores Celulares pequeños serán más vulnerables al “Co-PN Offset Alias” debido a que presentan una distancia de reuso más pequeño tal como se indica en la ecuación previa.

4.2.3 Search Windows o Ventanas de Búsqueda

Tanto en cdmaOne[®] como en CDMA2000, el MS utiliza tres Search Windows para que operen sobre las señales piloto recibidas:

- SRCH_WIN_A: Destinada para el “Active Set” y “Candidate Set”.

El “Active Set” es el conjunto de señales piloto asociado con los Canales de Tráfico del Forward Link que son asignados hacia un MS en particular.

El “Candidate Set” es el conjunto de señales piloto que se han recibido con el nivel de señal apropiado por el MS para ser demoduladas, sin embargo, no se encuentran dentro del “Active Set” por la RBS.

El SRCH_WIN_A captura todas las componentes multitrayectoria de la señal de una RBS, y al mismo tiempo la ventana tiene que ser lo más pequeña posible para maximizar el desempeño en la búsqueda, sin embargo también tiene que ser lo suficientemente duradera para considerar el tiempo máximo de diferencia entre las componentes de la Señal Piloto.

- SRCH_WIN_N: Destinada para el “Neighbor Set”.
- SRCH_WIN_R: Destinada para el “Remaining Set”.

El “Neighbor Set” es el conjunto de señales piloto asociadas con los Canales CDMA que son posibles candidatas para la realización de un “Handoff”. Generalmente el “Neighbor Set” consiste de un conjunto de señales piloto que se encuentran asociadas con los Canales CDMA que cubren las áreas geográficas cercanas al MS.

El “Remaining Set” es el conjunto de todos los “PN Offsets” permisibles que no se encuentran dentro del “Active Set”, “Candidate Set” y “Neighbor Set”.

SRCH_WIN_N es generalmente más grande en tamaño que el SRCH_WIN_A. SRCH_WIN_R tiene que tener al menos el mismo tamaño que el SRCH_WIN_N.

Ambas ventanas tienen que tener en consideración el más largo retardo para el “Spreading” de la “Target Pilot” correcta así como la más larga diferencia en el retardo de propagación (diferencia en distancia) entre la Señal Piloto de referencia y la “Target Pilot”. La “Target Pilot” es la señal proveniente del “Target BS”.

4.3 Tarificación en Sistemas de Tercera Generación

La tarificación en un Sistema de Tercera Generación se refiere a la capacidad que brinda un proveedor o “Carrier” de capturar, medir y tarificar los servicios de “Internet Móvil” que encierra esta generación de Telefonía Celular. Dentro de estos servicios se encuentran: voz, datos, así como contenido electrónico tal como navegación en la web, email, actividades comerciales, y “streaming⁷”.

⁷**Streaming:** Es una técnica de transferencia de datos mandados desde un servidor que le permite al usuario móvil de visualizar alguna aplicación multimedia sin recurrir a la espera de largos tiempos de descarga. Esto se refleja en el acceso inmediato de los paquetes de datos en el tiempo en los cuales estos hayan arribado al destino.

Se espera a que las ganancias obtenidas a partir de los contenidos de los servicios afecten al incremento de los componentes necesarios para proveer los servicios y para poderlos tarificar. De esta manera un esquema de negocios bien fundamentado que pueda regular sostenidamente estos componentes permitirá a un proveedor telefónico darle ventaja sobre otro. El incremento antes mencionado se enfrenta a una serie de problemáticas entre las que se encuentran:

- Incremento en la complejidad de la interoperabilidad entre los proveedores de servicios.
- La operación de “billing⁸” que surja de la cadena de servicios para tarificación tiene que ser manipulable vía Software.
- Ausencia de estándares para realizar la interfaz entre todos los proveedores de servicios.

En seguida se establecen los retos con los que se encaran los operadores para desarrollar de Sistemas de Tarificación más sofisticados que puedan lidiar con el soporte de estos servicios de Telefonía Avanzada, así como las vías que ellos adoptan con el fin de realizar un cambio gradual de los servicios brindados en los sistemas de 2.5G hacia los de 3G.

Con la introducción del Sistema de Segunda Generación en la década de los 90's se maneja la forma de poder realizar transmisiones digitales en vez de analógicas gracias a la evolución de las comunicaciones digitales y debido a la introducción de mecanismos de muestreo y codificación.

Con la recién introducción de estos sistemas, el Sistema de Tarificación aún se basaba sobre el esquema de cuantificar el tiempo bajo el cual duraba la conexión. Como resultado, varios proveedores telefónicos o “Carriers” que se encontraban familiarizados con la telefonía tradicional, seguían implementando esquemas de tarificación que solían ser obsoletos, basándose en la utilización de registros en donde se registraban los reportes de las llamadas conocidos como (CDR).

Conforme los Sistemas de Segunda Generación fueron evolucionando y los servicios de valor agregado iban aumentando tales como los servicios de Paging, E-mail, Voice-mail, etc, obligó a que los “Carriers” emigraran a los sistemas 2.5G. Más adelante, éstos tendrían una gran aceptación a nivel mundial pero debido a la existencia de una gran disparidad de los servicios de valor agregado, se fueron optando por diferentes técnicas de acceso múltiple (CDMA, TDMA) y tecnologías como GSM para ofrecerlos. Por otro lado, los “Carriers” no podían tarificar de una manera más compleja hacia sus usuarios debido a la imposibilidad de:

- Asociar las transacciones que realiza el usuario final en tiempo real.
- Converger datos de múltiples recursos, tales como tiempo de uso de la red, transacciones y compras de servicios.

La técnica que se vio más favorecida para esta generación fue GSM, sin embargo, los proveedores tuvieron que optar por un Sistema de Tarificación que se adecuara con las exigencias de estos nuevos servicios, más por el hecho de realizar una estimación de la tarifa sobre los datos transmitidos desde o recibidos hacia el MS, en vez de tomar en

⁸**Billing:** Mecanismos de tarificación debido al manejo de una o múltiples Instancias de Servicios solicitadas por el MS.

cuenta el tiempo sobre el cual el usuario estuviera en “conexión” con la Red. El término de “Realizar una llamada” tal como es utilizado en la telefonía tradicional desaparece, y se adopta el término de “Manejo de paquetes” dentro del esquema de “Internet Móvil”. Para confrontar esta conflictiva, los “Carriers” tuvieron que recurrir al concepto de “recolección de información”, y asimismo recurrieron al desarrollo de modelos de tarificación basados en IP capaces de capturar información de múltiples servidores, enrutadores, “gateways” y proveedores de contenido, conformando así el esquema de tarificación conocido como “Billing for Content”.

El objetivo de este esquema es de ayudar a los “Carriers” en determinar:

- El tipo de información que esta siendo transmitida sobre la Red Celular.
- Como capturar las ganancias sobre la información que está siendo transmitida.

Con la evolución de estos esquemas de tarificación, se consolidó el Sistema de Tercera Generación para darle soporte a otros tipos de servicios, catalogados como:

- Servicios de “streaming”.
- Video Conferencia.
- Compra en línea.
- Transacciones bancarias en línea.

Los parámetros bajo los cuales son tarificados estos servicios son los siguientes:

- Número de paquetes de datos manejados.
- Cantidad de datos transportados en el envío desde el MS y descarga desde la red.
- QoS.
- Localización (Lugar donde se realiza la conexión).
- Contenido.

Aunado a esto, los “Carriers” deben de disponer de recursos exteriores o terceros que le permitan brindar estos servicios. Esto es importante ya que con ello se va a determinar el cómo se debe de capturar los ingresos generados por el contenido que provienen de los terceros. A medida que las Redes vayan exigiendo la generación de diferentes formas de datos utilizando diferentes tipos de registros, debido a la utilización de distintos tipos de servicios, la escalabilidad en el Sistema de Tarificación se volverá imperativa.

En síntesis, queda claro que el Sistema de Tarificación “flat-rate”, el cual consistía en ofrecerle a los usuarios costos fijos por los servicios durante mensualidades ya no son válidos para el futuro de las comunicaciones móviles, en donde forzosamente se tiene que recurrir al modelo de tarificación basado en el contenido y uso de servicio.

Así como es importante el decidir sobre cómo evaluar el contenido de los servicios también existe el pendiente de como guiar las ganancias que se obtengan de los servicios hacia los elementos que integran la cadena que ayudan a proporcionar éstos, tales como: proveedores de servicios, portales, ISP⁹, distribuidores, proveedores intermediarios, etc.

⁹ISP: Internet Service Provider. Organización que le provee a sus suscriptores acceso a los servicios de la Internet.

Debido a la complejidad que encierra un servicio, el Sistema de Tarificación tiene que ser capaz de establecer el “Grade of Service¹⁰” e implementar una medida tarifaria que refleje las condiciones reales de mercado.

En sistemas con desarrollos más evolucionados en Sistemas de Tarificación (IP Billing), los registros producidos se les conoce con el nombre de IPDR los cuales extienden las funciones sobre los campos de los CDR comunes con el fin de monitorear un amplio rango de parámetros tales como: Duración de la Sesión, Paquetes transmitidos, Transacciones, Contenido, Nivel de QoS, etc; basándose en una tarificación en tiempo real, uso de servicio y tipo de sesión.

Como se ha mencionado, cada elemento que ayuda a proporcionar el servicio de las Aplicaciones 3G hacia el usuario final, forma parte de una cadena de componentes que dan soporte en la tarificación de un Sistema de Tercera Generación. Las funciones que desempeñan éstos así como el nombre que adquieren en la cadena se mencionan en la Tabla 4.26.

<i>Nombre</i>	<i>Descripción</i>
Content Provider (CP)	Desarrolla o proporciona el contenido para diversos canales. Asimismo agrega el contenido que otros ya hayan creado.
Network Operator (NO)	Es el medio que ofrece el uso de la red para proveer el uso de la aplicación hacia el usuario final.
Technology Provider	Produce los dispositivos móviles habilitados, plataformas de las aplicaciones, tecnologías de almacenamiento y medios básicos de operación.
Application Service Provider (ASP)	Provee el hosting, los servicios, mantenimiento y actualizaciones de las aplicaciones .
Service Provider	Realiza la venta de los servicios de los móviles hacia los usuarios y toma en consideración el “billing” y marketing.
Customer	Usuario final.

Tabla. 4.26 Funciones de los elementos que componen al Sistema de Tarificación en un sistema 3G

Considérese ahora un esquema que envuelva los elementos antes mencionados para brindar el servicio de tres aplicaciones: una relacionada con transacciones bancarias, otra con análisis financieros y otra para servicios de entretenimiento (Juegos).

¹⁰**Grade of Service:** Medida del desempeño de una red representado por el porcentaje de Instancias de Servicios que son perdidas. El GoS puede ser medido en términos de retardos que son manejados en las Instancias de los Servicios.

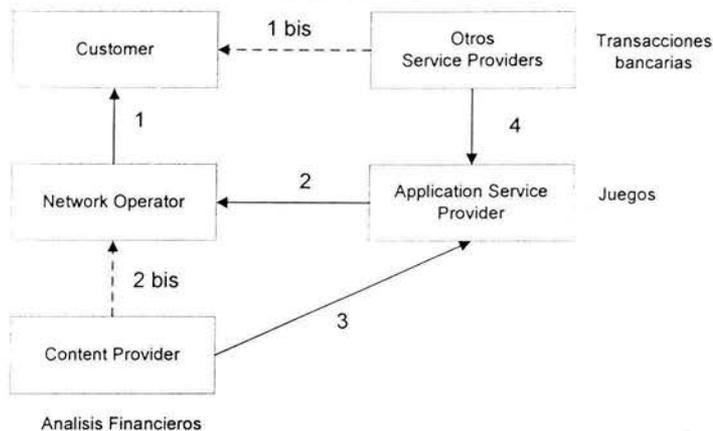


Fig. 4.27 Interrelación de los elementos que componen un Sistema de Tarificación en un sistema 3G para los ejemplos citados.

Para la primera relación el NO juega como el elemento “interfaz” con el usuario final. La tarifa que se le proporciona a éste incluye el acceso hacia la red, su uso, así como el uso propio del servicio. Los ingresos proporcionados hacia el CP radican en el contenido que proviene directamente de él o a través del Application Service Provider.

El “billing” realizado sobre el usuario final se basa en:

- Pagos mensuales por tener acceso al servicio.
- Descarga del servicio y de servicios adicionales.

En una segunda relación las interconexiones llevadas a cabo entre el ASP y el NO deben ser pensadas para establecer las ganancias entre ellos. Los ingresos proporcionados hacia el ASP deben ser de acuerdo al cargo total del servicio de valor agregado o simplemente por el servicio del ASP.

Recursos adicionales permiten ganancias en un sistema 3G, entre los que se encuentran:

- Publicidad.
- Porcentaje de ganancias por parte de los proveedores de servicio.
- Porcentaje de ganancias por tiempo aire o cantidad de datos descargados.
- “Flat-rate”.
- Ganancias hacia los desarrolladores de Software (License revenues).
- Diferentes tasas de descarga utilizadas para determinar el mayor pago de las aplicaciones por parte de los usuarios finales.

Aunado con los elementos descritos que componen al Sistema de Tarificación de la red 3G, se debe de contar con el “Accounting Agent” el cual debe de proveer las bases de datos y los registros que tengan la información de la tarificación. El “Accounting Agent” se encarga de recibir la información de los “Service Elements” o terceros que se involucren con la entrega de los servicio 3G hacia el usuario final.

La Fig. 4.28 ilustra la arquitectura de la cadena del Sistema de Tarificación y la interrelación que se guardan entre ellos.

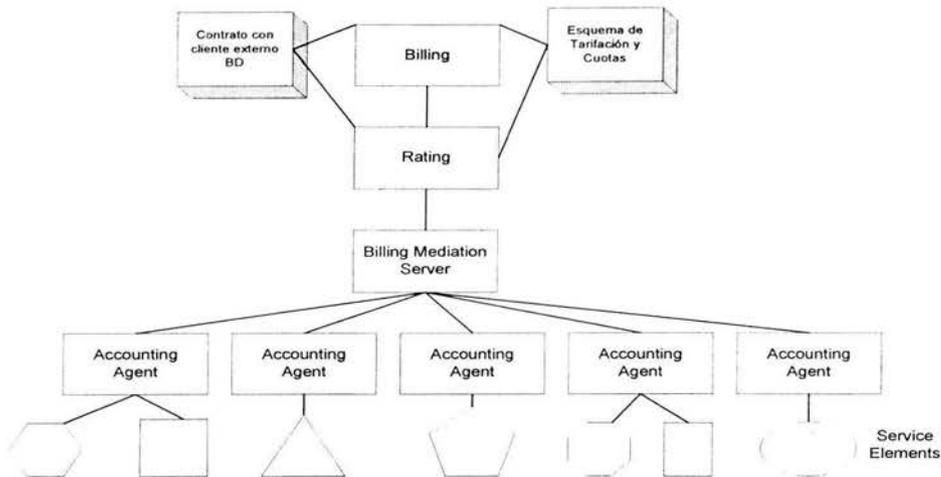


Fig. 4.28 Logical Architecture of the Billing Chain

- **Accounting Agents**

Como se ha mencionado, se encarga de recolectar la información proporcionada por los Service Elements convirtiéndola en los denominados CDR. Asimismo tiene como función el filtrar, validar y agregar información a los CDR.

Posteriormente transforma los CDR a un tipo de formato codificado utilizando XML¹¹.

- **Billing Mediation Server**

Recibe los CDR provenientes de los “Accounting Agents”. Se requiere de la utilización de un protocolo con el fin de garantizar la transmisión correcta y completa de la información que se recibe. Al igual que los “Accounting Agents” filtra los registros, elimina los que sean duplicados, y sincroniza el funcionamiento.

- **Rating**

El servicio de “Rating” recibe los CDR que provienen del Billing Mediation Server¹² y los destina hacia un servicio “end-to-end” (servicio entre el cliente y el servidor) produciendo registros relacionados con el servicio total que tiene que ser tarificado. Es decir, en el “Rating” se hace una recopilación de todos los registros de los múltiples proveedores de los servicios 3G con el fin de realizar un “billing” neto. El “billing” que el “Rating” proporciona encierra características como volumen, contenido, tiempo y tipo de servicio ofrecido al usuario final.

- **Billing**

Calcula el precio del servicio que se ha de destinar hacia el usuario final. Asimismo genera las ganancias o ingresos que deben de ser compartidos hacia los proveedores de los servicios, incluyendo los detalles sobre la porción del servicio ofrecido. Queda implícito que el esquema de tarificación tiene que ser lo más flexible

¹¹**XML:** Extensible Markup Language. Lenguaje que se encarga de clasificar un objeto de datos a una base de datos, asimismo permite la creación de aplicaciones de acuerdo a las necesidades del usuario.

¹²**Mediation Server:** Servidor intermediario que para el caso ilustrado, provee de información sobre la tarificación con objetivo de mejorar el desempeño del sistema en colaboración con el AAA.

posible con el fin de manejar múltiples formas de cobro hacia los usuarios finales para que las ganancias puedan ser repartidas hacia todos los proveedores de servicios.

4.3.1 Tarificación en CDMA2000 1x

4.3.1.1 Función tarifaria en AAA para CDMA2000 1x

El servidor AAA (Authentication, Authorization and Accounting) introducido en los Sistemas de Tercera Generación para CDMA2000 1x se encarga entre otras funciones el de realizar el proceso de tarificación sobre los servicios de valor agregado que son utilizados por los usuarios móviles.

Las características que encierra este componente de la Red Celular fueron descritas con anterioridad en el Capítulo 2. Sin embargo, resumiremos el significado de sus tres funciones principales:

- Autenticación: Cuando el usuario entra al sistema, su registro se “autentifica” con el “nombre del usuario” y el “password” de éste.
- Autorización: Después de realizar el proceso de autenticación, el usuario es “autorizado” de acuerdo a su perfil a acceder servicios tales como e-mail, Internet, o posiblemente aplicaciones de la Intranet.
- Contabilización: Después de tener acceso a los servicios, el usuario móvil comienza a enviar y recibir datos sobre la red, estas transacciones que son el resultado de la transferencia de información generan registros los cuales el “Carrier” los utiliza para propósitos de tarificación. Con respecto a este proceso, un módulo está dedicado exclusivamente para la “contabilización” el cual recopila todos los registros de los “Service Controllers” en una base de datos central. Debido a que esta unión de todos los registros en la base de datos se lleva a cabo en tiempo-real la información puede ser utilizada para auditoría y monitoreo.

El servidor AAA no le permite únicamente a un “Carrier” darle soporte a los servicios de valor agregado sino que también le permite tarificar a los usuarios móviles en diferentes maneras. Por ejemplo, se puede elegir, entre otras opciones, que un sistema tarifique como “flat-rate”, “Content-Billing”, etc. El AAA se encarga de realizar los detalles de la conexión en registros conocidos como CDR los cuales son enviados a múltiples Sistemas de Tarificación (mismos que pueden ser los ya existentes de cdmaOne[®] dentro de la Red Celular).

Con ello, no solamente cada usuario puede ser tarificado de forma diferente de acuerdo a su perfil sino que también pueden ser tarificados de acuerdo al tipo de servicio que se recurra. En la Fig. 4.29 se muestran las opciones y características de los CDR utilizando el AAA.

cdma2000 Advanced Cellular Network Operator	Date: xx/xx/xx		Account number:			Customer name: Address: Zip code:				
	Date	Time	Call origin	Call to	Called Number	Call Type	Rate	Usage	Amount	
	xx/xx	3:10pm	San Diego	PCN data	PCN data	Video	Mthly fee	15 min	0.00	Flat Rate Charging
	xx/xx	5:45pm	New York	PCN data	Quake	Games	10.00 /hour	15 min	2.50	Time-based Charging
	xx/xx	10am	Sao Paulo	PCN data	www	Text editor	5 per meg	2meg file	10.00	File Size Charging
	xx/xx	1:15pm	Kansas	PCN data	PCN data	Audio	Prepaid	5 min 2 sec	0.00	Prepaid
	xx/xx	9:10am	Los Angeles	PCN data	PCN data	Video	Time of day	5 min	15.00	Time of Day
	xx/xx	6:20am	Chicago	PCN data	1234	Video conf	Miles	1 hour 35 min	200 voice miles	Voice Miles for Data Use
	xx/xx	9:01pm	Mexico	PCN data	Home office	www	1.00 /inquiry	60 sec	1.00	Soft Rating for Inquiries
	xx/xx	3:10pm	Miami	PCN data	135689	Video conf	On demand	10 min	10.00	Service on Demand

Fig. 4.29 Récord que ilustra el Billing del AAA para un Sistema de Tarificación de Tercera Generación (CDMA2000 1x)

A continuación se muestra una tabla en la que se ilustra los cargos que se pudieran realizar para cada uno de los servicios brindados. (Véase Tabla 4.30).

Servicio	Suscripción	Duración	Tiempo del Día	Volumen	Evento	Contenido	QoS
Acceso a la WWW	X		X	X			X
Acceso a la Intranet	X	X		X			X
E-mail				X	X	X	
Juegos		X	X				X
Telemetría	X				X		X
Multimedia		X			X	X	

Tabla 4.30 Tipos de Cargos realizados a los servicios de un Sistema de Tercera Generación

Aunado con esto, el servidor AAA permite que el “Carrier” defina un número simultáneo de usuarios bajo un mismo “Account Number” (Número de Cuenta) tal como se ilustra en la Fig. 4.29.

Debido a la utilización de los parámetros de “Controles de Acceso” como el Tiempo de Entrada (Fecha y Tiempo de registro), los operadores CDMA pueden ofrecer servicios hacia sus usuarios móviles más personalizados. Por ejemplo, basándose en la Fecha y Tiempo de Registro el “Carrier” puede restringir el acceso de determinados MS hacia la red.

La implementación del AAA dentro de la Red Celular de un Sistema de Tercera Generación se vuelve casi imperativa para los tipos de servicios brindados, ya que ofrece diversas variantes en la tarificación, sin embargo no es obligatoria. Si el AAA se llega a estructurar dentro de la Red se puede utilizar un servidor que sirva de vía o medio (tal como un “Mediation Server”) para incrementar la funcionalidad del “billing” y del “Rating Engine”. Los registros que son recopilados por el “Service Controller” y pasados al AAA, así como la interacción de “terceros” tales como el MSC para mejorar el “Rating Engine” se ilustran en la Fig. 4.31.

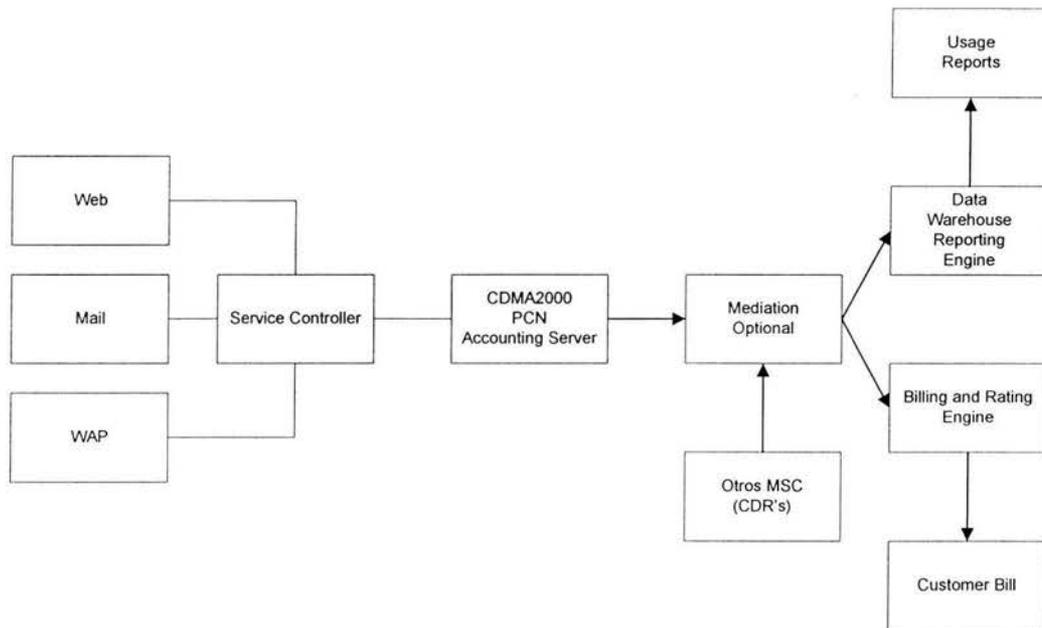


Fig. 4.31 Servicio de Billing en CDMA2000 1x

Para varios operadores de Telefonía Celular, tener mejoras en los sistemas de tarificación, de reportes y de contabilización en sus redes se vuelve muy benéfico. Sin embargo para otros estas mejoras involucran un incremento en los costos que deben de ser sometidos en la red así como la necesidad de hacer una re-evaluación para decidir sobre la inversión.

4.4 Interoperabilidad y Compatibilidad

Inicialmente el organismo conocido como UIT tenía como finalidad el buscar un único estándar global para los Sistemas de Tercera Generación. Sin embargo se crearon diversos estándares entre ellos dos variantes de CDMA y un tercero basado en el esquema TDMA. La razón por optar estas tecnologías reside en la “compatibilidad” que pueden ofrecer con las Redes ya instaladas previamente.

▪ Actualizaciones Directas

Los “Carriers” que no tienen licencia para la adquisición de una nueva banda de frecuencias en el Espectro Radioeléctrico necesitan adquirir un sistema que sea esencialmente una “mejora” con respecto al que ya tenían, de tal manera que los nuevos MS sean capaces de entrar en función con las antiguas RBS y viceversa. Las

actualizaciones consisten en cambiar el tipo de conmutación (de conmutación de circuitos a conmutación de paquetes) así como el esquema de modulación conservando las dimensiones de los sectores celulares y la Estructura del Canal. Estas limitantes reducen a que los operadores que trabajan en TDMA, sus actualizaciones las hagan conservando la misma infraestructura.

- **Roaming**

En principio, un MS puede soportar el funcionamiento de diferentes técnicas de acceso en Sistemas de Tercera Generación (tales como WCDMA, GPRS, etc). Debido a esta razón a IMT-2000 se le considera un estándar ya que envuelve múltiples modos de operación cada uno representando un esquema de 3G diferente.

- **Handoff**

El concepto de “Roaming” se vuelve inconveniente para los usuarios finales, ya que los MS se tienen que conectar a una red diferente para llevar acabo la Autenticación. Para facilitar este proceso, un sistema 3G puede ser esquematizado para que el “Handoff” se realice hacia la red 2G cuando el MS se haya salido de la “Cobertura” de la red 3G. Con ello el usuario final no notará la diferencia, a menos que esté accediendo a un servicio 3G en particular, tal como multimedia o “streaming”, que queda ajeno a un servicio de 2G. Esto implica que los MS tienen que operar tanto en modos 2G como 3G.

El problema fundamental para IMT-2000 es que no se ha definido un estándar en el cual pueda tanto actualizarse sobre cdmaOne[®] y realizar el “Handoff” a GSM.

- **WCDMA**

Wideband CDMA es el sistema optado por la mayoría de los “Carriers” para la utilización de nuevo espectro. El esquema bajo en el cual se basa esta variante de CDMA permite realizar “Handoffs” a GSM, sin embargo las redes GSM no pueden ser automáticamente actualizadas hacia WCDMA. Por otra parte, el “backbone” de la red GPRS si puede ser reutilizada y con ello reducir los costos de emigración de tecnologías.

El término de “wideband” obedece a que el ancho de banda de canal utilizado es de 5 MHz, constituyéndose como cuatro veces que el de cdmaOne[®] y 25 veces que el de GSM. Un ancho de banda de 5 MHz fue utilizado para ofrecer una mayor tasa de datos. A diferencia de cdmaOne[®] el cual automáticamente envía cada bit de información 64 veces, WCDMA ajusta la ganancia dependiendo del nivel de la señal. Cada bit es enviado entre 4 y 128 veces, lo cual significa que se tiene disponible mayor ancho de banda en áreas con una señal más fuerte.

La mayor diferencia entre WCDMA y cdmaOne[®] es la necesidad de recurrir a un tiempo para la sincronización. WCDMA fue diseñado para operar sin pulsos de reloj GPS, necesitando un esquema de codificación diferente (recurriendo a “Gold Codes¹³”).

¹³ **Gold Codes:** Secuencia de códigos binarios para realizar el “Spreading” en WCDMA.

▪ **CDMA2000**

De las técnicas de acceso para los Sistemas de Segunda Generación solamente la tecnología cdmaOne[®] es la que se basa en CDMA. Esto permite a que los “Carriers” puedan utilizar la misma infraestructura de las Redes de 2G, para ser actualizadas únicamente vía Software así como cambios en los esquemas de modulación para entregar servicios de Tercera Generación. Con ello se evita en “construir” un nuevo sistema de radiocomunicaciones.

Estas ideas convergieron en crear CDMA2000 1x y CDMA2000 3x, éste último denominado de esa forma ya que utiliza tres canales conjuntamente. Sin embargo este sistema no resulto ser compatible con la forma de operación de WCDMA, tecnología favorecida por Europa y Japón, aunque sus especificaciones técnicas hayan sido muy similares.

Para introducir servicios de 3G en el espectro ya ocupado por IS-95 (en este caso el estándar CDMA2000), se destina la misma banda de frecuencias ocupada por su sistema antecesor. Gracias a la flexibilidad antes descrita se ha llegado a que los Sectores Celulares utilicen ya sea CDMA2000 1x (1.25 MHz) o CDMA2000 3x (3 x 1.25MHz) para proveer la compatibilidad entre los sistemas.

Adicionalmente QUALCOMM[®] ha desarrollado una solución HDR (High Data Rate) conocida como (1xEV) para la transmisión de tasas alrededor de los 2.4 Mbps en portadoras de 1.25 MHz siendo totalmente compatible con las portadoras IS-95. Debido a que HDR es una portadora únicamente destinada a la transferencia de datos, sumada con la portadora de voz 1x se permitirá ofrecer una solución completa de 3G sin tener que utilizar canales de 5 MHz.

Este esquema de funcionamiento dispondrá de la coexistencia de servicios 2G y 3G en la misma banda de frecuencias.

La diferencia más notable estriba en el “Chip Rate” manejado. El “Chip Rate” de CDMA2000 necesita ser un múltiplo del empleado en cdmaOne[®], mientras que el de WCDMA tiene que adecuarse a la estructura del frame de GSM.

Para el caso de CDMA2000 1x, esta evolución se consolida como el paso próximo de IS-95B. Como se ha visto esta técnica requiere de nuevo Hardware en los Controladores de la RBS pero no una nueva interfaz de RF.

Por otro lado un estándar que resulta más evolucionado que el anterior es el conocido CDMA2000 3x, del cual su desempeño resulta casi idéntico que el de WCDMA, excepto que utiliza menos espectro útil e introduce algunas de las características de cdmaOne[®] (por ejemplo: chip rate “GPS Timing” para la optimización de sincronización en el sistema CDMA).

4.5 Operación y Mantenimiento en CDMA2000 1x

El manejo de las tareas de Operación y Mantenimiento en un Sistema de Tercera Generación difiere al de uno de Segunda Generación, en que los procesos que se llevan a cabo para ejecutar dichas tareas se realizan en diferentes módulos en vez de realizarlos

en uno solo, tal como sucedía en cdmaOne[®] (el cual disponía del BSM o Base Station Management para ejecutar tales procesos). El sistema completo de Operación y Mantenimiento dentro de la RAN¹⁴ del CDMA2000 1x está constituido por los siguientes elementos:

4.5.1 EEM (Embedded Element Management)

El cual es integrado al RBS y al BSC y contiene toda la funcionalidad para manipular al nodo en cuestión dentro de la red.

4.5.1.1 Fault Management (FM)

Se encarga de detectar aquellos nodos dentro de la red que se encuentran fallando e inmediatamente llevar el reporte de esta información a la operación de monitoreo del RNM. La estrategia que generalmente se opta para sistemas en donde se tienen RAN tanto de cdmaOne[®] como de CDMA2000 1x es que cada RAN se tiene que tratar como una subred independiente. Las fallas concurrentes a cdmaOne[®] así como las de CDMA2000 1x son integradas a nivel del NMS (Network Management System), que es el sistema Controlador de la red. El Fault Management del NMS recibirá dichas fallas desde la interfaz actual de cdmaOne[®] y las fallas concurrentes a CDMA2000 1x serán transmitidas al NMS vía FM IRP¹⁵.

4.5.1.2 Performance Management (PM)

Se encarga de recolectar y almacenar la información relacionada con el desempeño del sistema, de manera que sirva para diagnosticar problemas y optimizar la RAN. A igual como sucede con el Fault Management, los parámetros del desempeño para sistemas híbridos cdmaOne[®] y CDMA2000 son integrados al nivel del NMS. El Performance Management (PM) del NMS recibirá los parámetros de las interfaces cdmaOne[®] vía BSM FTP (File Transfer Protocol¹⁶) mientras que los parámetros de medición correspondientes a CDMA2000 serán transmitidos vía PM IRP. Debido a que las mediciones tomadas para cdmaOne[®] difieren de las de CDMA2000 1x, los dos conjuntos de mediciones son recolectados en diferentes bases de datos del NMS y analizados por separado.

4.5.1.3 Configuration Management

Las funciones correspondientes al Configuration Management permiten la fácil instalación y denominación de los nodos.

▪ Manejo común para RAN de cdmaOne[®] y CDMA2000

El actual NMS puede ser utilizado tanto para el mantenimiento de la red cdmaOne[®] como para CDMA2000. El BSM de cdmaOne[®] utiliza la interfaz

¹⁴**RAN:** Radio Access Network. Es el sistema de la red que contiene todas las funciones que habilitan al usuario móvil hacia al acceso de los Servicios.

¹⁵**IRP:** Integrated Reference Point. Modelo de información que define la interfaz entre un Network Element (elemento que dispone de una función específica dentro de la red) y los NMS (Network Management Systems).

¹⁶**FTP:** File Transfer Protocol. Protocolo que permite la transferencia de archivos.

conocida como QMIP utilizando los elementos PM y FM del NMS. El RNM de CDMA2000 utiliza los IRP para el acceso hacia el NMS. Lo anteriormente explicado se muestra en la Fig. 4.32.

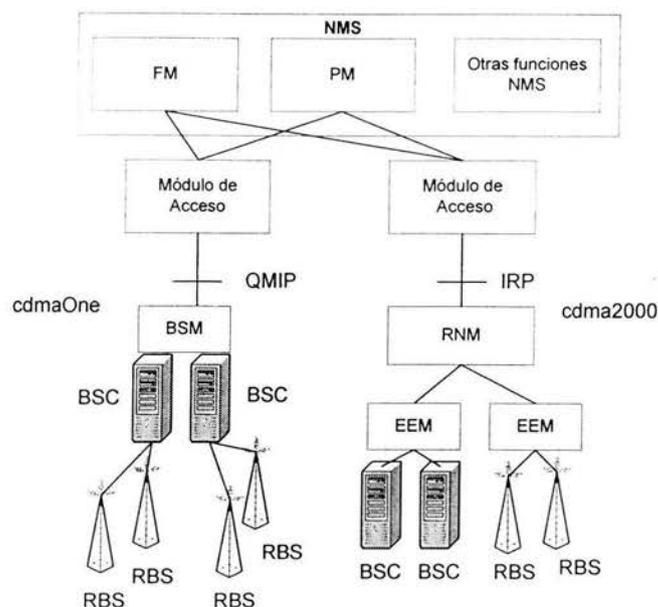


Fig. 4.32 Manejo común para RAN de cdmaOne® y CDMA2000. Véase QMIP¹⁷ y CMIP¹⁸

4.5.2 SNM (Subnetwork Management)

Provee funciones para tomar el control en el manejo de múltiples nodos dentro de un dominio en específico.

4.5.3 O&M Intranet (Operation and Maintenance)

Todos los elementos de la red incluyendo el RNM son interconectados vía IP basándose en el esquema de O&M con el fin de que todos los nodos sean accesibles por medio de la Intranet.

4.5.4 RNM (Radio Network Management)

El cual tiene como función coordinar y manipular las diferentes tareas de los múltiples nodos así mismo desempeñarse como “gateway” para la interacción con sistemas NMS.

Asimismo el RNM fue diseñado con el fin de solucionar las peticiones de Operación y Mantenimiento de la RAN, y funciona como complemento funcional de EEM. La implementación del RNM permite la evaluación en el desempeño funcional en cada uno de los nodos de la red. Gracias a ello, se permiten definir nuevas RBS que se implementan en la red, o redefinición de funcionalidades para RBS ya existentes.

La información de configuración puede ser recopilada a partir de los nodos individuales y entregados hacia el RNM o hacia el Software de monitorización.

¹⁷QMIP: Implementación propietaria de CMIP. Véase CMIP.

¹⁸CMIP: Common management information protocol. Es un protocolo que permite la transmisión de información entre agentes encargados del control de equipo de la red (Operación y Mantenimiento). Asimismo se encarga de enviar el reporte de las condiciones inusuales de la Red de Telefonía Móvil Celular.

Esto infiere a que la comunicación entre el RNM y los nodos de la red se vuelva bidireccional con lo que se incrementa la flexibilidad en la operación de la RAN.

4.5.5 *Software de monitorización; evaluación del desempeño tráfico y transporte, optimización y diseño de la red.*

Tal como su nombre lo indica, es el Software el cual permite el diseño de la RAN (planificación), realizar pruebas para la interfaz de aire, monitorización y optimización.

Las herramientas que lo constituyen intercambian la información una con otra, asimismo comparte información con el RNM tal como se mencionó anteriormente. Una vez que la configuración de la red se haya concluido, ésta es pasada hacia el RNM para que posteriormente sea “descargada” hacia las RBS o BSC correspondientes.

- **Software relacionado con Planificación**

Es el Software que se encarga del diseño de las RAN, de aquél se obtienen características como predicciones de “Cobertura”, “Capacidad” en el Forward y Reverse Link, áreas de “Handoff”, zonas de mayor interferencia, sectores destinados a un mejor servicio de la red, etc.

- **Software relacionado con el transporte de datos**

Utilizado para la planificación de la RAN en cuestión del transporte de datos e información. Con este Software se estudia la Red de Transporte y cómo se puede expandir recurriendo a información a partir de los enlaces de microondas necesarios, dimensionamiento de diferentes topologías para la futura colocación de RBS y BSC, etc.

- **Software relacionado con monitorización de la red**

Este Software se dedica para monitorear el desempeño que conlleva el transportar voz y datos en una red CDMA, recurriéndose a medir parámetros tales como la carga de tráfico en la interfaz de aire y el desempeño en las conexiones realizadas.

- **Software relacionado con la optimización de la red**

Provee el análisis y optimización de la RAN, el cual entrega como resultado un reporte en el que figura una apreciación del estado actual de la red así como del QoS a partir de tabulaciones, gráficos y mapas.

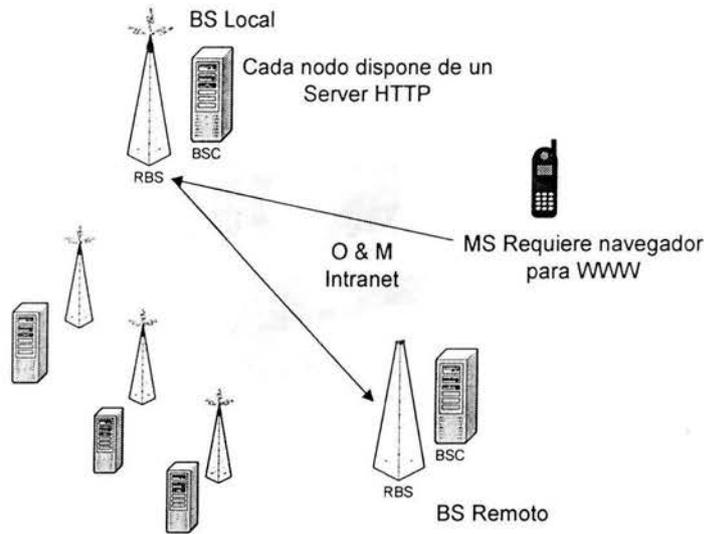


Fig. 4.33 Embedded Element Management

Es necesario aclarar, que el RNM deberá ser capaz no solamente de darle Operación y Mantenimiento a la red CDMA2000 sino que también tiene que ejercer sus funciones sobre la red cdmaOne[®]. Caso contrario sucede, si se quiere actualizar el módulo BSM de una red cdmaOne[®] para brindar servicios de mantenimiento a una Red de Tercera Generación, ya que se requieren tanto de componentes nuevos en HW y SW para llevar acabo dichas tareas.

Un MS de Tercera Generación se requiere para acceder al EEM. La conexión puede ser vía Ethernet¹⁹ o por medio del O&M Intranet. En la RAN, el O&M Intranet se basa en el esquema de transporte ATM definiendo las prioridades de tráfico sobre los paquetes IP que viajan sobre la red.

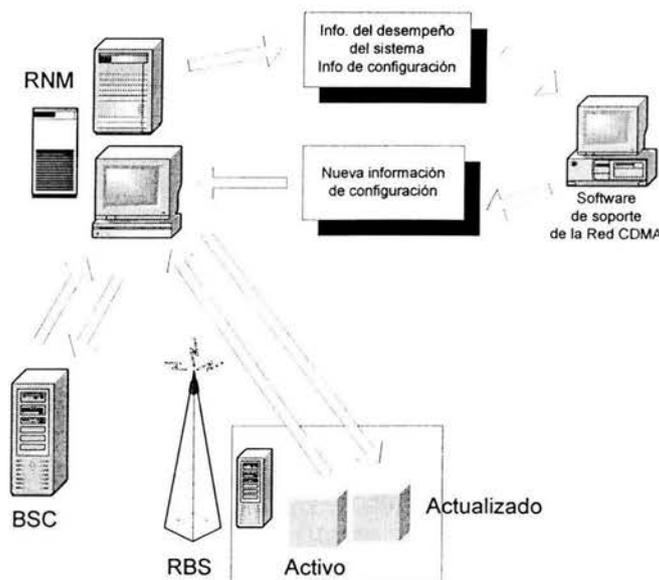


Fig. 4.34 Interrelación entre RNM y Software para pruebas en CDMA2000 1x

¹⁹ Ethernet: Estándar que define la interconexión entre nodos dentro de una Red Local (LAN).

Tanto el RNM, el cual lo definimos como el sistema que se encarga de ejecutar las tareas encomendadas por los nodos de la red, así como el Software que tiene como función el evaluar el desempeño de la red, son capaces de intercambiar información para fines de configuración de la red.

Capítulo 5

Packet Data Calls en CDMA2000 1x
Seguimiento de una Instancia de Servicio
de Paquetes de Datos

5.1 Aplicaciones de manejo de datos para Sistemas de Tercera Generación

Tal como se describió en Capítulos anteriores, el sistema 3G le provee al usuario final al acceso de aplicaciones que recurran al transporte y manejo de paquetes que como tales, deben de hacer uso de la red en donde se permita el acceso a la Internet/Intranet, con la debida autorización, autenticación que se provea al usuario y el destino del uso de Canales de Tráfico así como de las interfaces entre BS y PCF y entre el PCF y el PDSN para el establecimiento de las conexiones que permitan el intercambio de mensajes entre las diversas “Entidades de Red” con el fin de que el MS mantenga un enlace punto a punto con el PDSN y pueda realizar las operaciones concernientes al MIP (“Mobile IP”). De esta forma el MS podrá adquirir la movilidad suficiente que le permita realizar la transferencia de información hacia otro MS o hacia un servidor en particular, abriendo paso al concepto denominado como Internet Móvil.

El establecimiento de protocolos en las diferentes capas del Modelo OSI, primordialmente en la Capa de Enlace (Capa 2), han permitido la mejora en la entrega de paquetes de un punto origen a un punto destino reflejándose en la operación sobre aplicaciones multimedia, voz y datos en general. Como ejemplo, ATM se implementa en las redes de los proveedores con el fin de ofrecer una tecnología de conmutación y multiplexación de celdas que permita la transmisión de información de múltiples servicios con un valor de QoS determinado.

Por otra parte, con la inclusión del concepto de “IP Móvil” y con las técnicas desarrolladas para mejorar el encapsulamiento de los paquetes así como la seguridad en el manejo de datos (tal como se explicará mas adelante), se define una interrelación del “Home Agent” y del “Foreign Agent” necesaria, que permita que el MS pueda trasladarse desde su Red IP Local hacia otra ajena sin tener que recurrir al establecimiento de nuevas conexiones, ni la designación de IP dinámicas y a la excesiva señalización entre el MS y los servidores.

El objetivo residirá en observar las interacciones entre las Entidades de red de CDMA2000 1x que son necesarias para el transporte de paquetes desde un MS para distintos casos, esta información cabe dentro de la nominación como “Packet Data Calls”, o instancias que son distintivas sobre las llamadas de voz “comunes” a los sistemas 2G y anteriores.

Para entender mejor como se lleva acabo el proceso de una conexión para una aplicación de datos, se recurrirá al estudio del Modelo OSI el cual establece la definición y la función para cada Capa en una red.



Fig 5.1 Aplicación realizada en BREW^{®1} por el Laboratorio UNAM-QUALCOMM[®] en donde se realiza una petición a la Red IP

5.2 Layers para CDMA2000 1x

El Modelo de Referencia OSI² es el esquema descriptivo que creó la Organización Internacional para la Normalización (ISO³). Este modelo proporcionó a los fabricantes un conjunto de estándares que aseguraron una mayor compatibilidad e interoperabilidad entre los distintos tipos de tecnología de red. De esta manera el Modelo OSI se convierte en el modelo que describe el envío y la recepción de datos a través de una red.

De esta manera OSI para CDMA2000 1x nos ayuda a visualizar a grosso modo como los paquetes de datos viajan desde los programas de aplicación que residen en el MS (Aplicaciones de entretenimiento, de video, bancarias) a través de un entorno de red hasta otro programa de aplicación alojado en otro MS.

En la Fig 5.2 se muestra el Modelo OSI para CDMA2000 1x y la interrelación existente entre las Capas de dicho modelo.

¹**BREW:** Binary Runtime for Environment Wireless. Ambiente destinado a la programación de aplicaciones destinadas a dar servicios de Tercera Generación residentes en el MS.

²**OSI:** Open System Interconnection. Programa de estandarización internacional desarrollado por ISO y CCITT encargado de desarrollar estándares para proveer la interoperabilidad de equipo de diferentes fabricantes.

³**ISO:** International Organization for Standardization. Organismo internacional responsable de plantear un amplio rango de estándares, incluyendo a aquellas relacionadas con el flujo de la información en la red. Asimismo es responsable de la creación del Modelo de Referencia OSI.

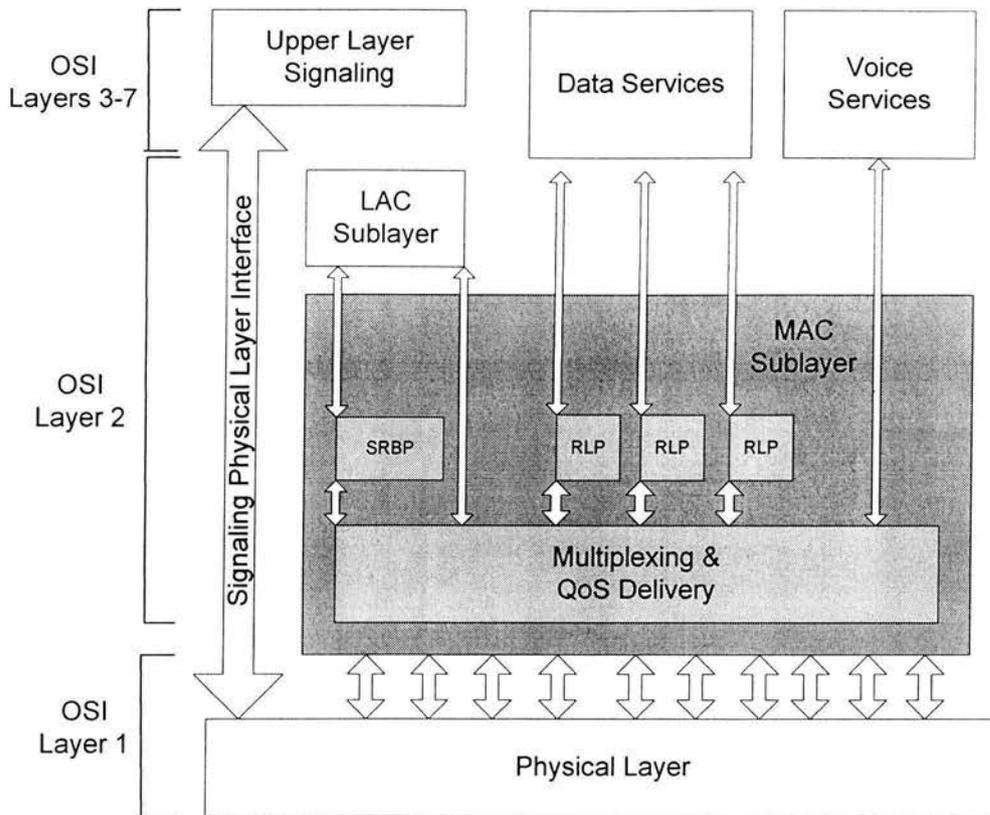


Fig. 5.2 Layering en CDMA2000 1x

5.2.1 OSI Layer 7

Es la Capa del modelo OSI más cercana al usuario; suministra servicios de red a las aplicaciones del usuario. La Capa de Aplicación establece la disponibilidad de los potenciales socios de comunicación, sincroniza y establece acuerdos sobre los procedimientos de recuperación de errores y control de la integridad de los datos. En CDMA2000 1x esta Capa está representada por los "Data Services" y "Voice Services" los cuales son servicios que se alojan en aplicaciones del MS.

Es decir, las aplicaciones del MS o Software del mismo tienen interactividad con el usuario. Existen interfaces que permiten la programación de aplicaciones, tales como BREW[®] (Binary for Runtime Environment Wireless). En la Fig. 5.3 se muestra un MS y una aplicación elaborada en BREW[®] mediante la cual el usuario tiene disponibilidad para descargar y enviar información permitiendo tener interactividad con la Red IP.



Fig. 5.3 Aplicación 3G desarrollada en BREW[®] por el Laboratorio UNAM-QUALCOMM[®] permitiendo el manejo de paquete de datos

5.2.2 OSI Layer 6

Denominada como Capa de Presentación la cual garantiza que la información que envía la Capa de Aplicación de un sistema pueda ser leída por la Capa de Aplicación de otro.

5.2.3 OSI Layer 5

Es la Capa de Sesión la cual establece, administra y finaliza las sesiones entre dos hosts que se están comunicando. Además de regular la sesión, esta Capa ofrece disposiciones para una eficiente transferencia de datos, clase de servicio y un registro de excepciones acerca de los problemas de la Capa de Sesión, Presentación y Aplicación.

5.2.4 OSI Layer 4

Es la Capa de Transporte que asegura el paso confiable de información de un punto a otro punto de la red (extremo-extremo). Para tal encargo, la Capa de Transporte debe utilizar dispositivos de detección y recuperación de errores de transporte.

Asimismo este nivel asegura que se reciban los datos en el orden apropiado. Su responsabilidad reside en establecer, mantener y terminar adecuadamente los circuitos

virtuales. Algunos protocolos de este nivel son TCP (Transport Control Protocol) y UDP (Internet User Datagram Protocol).

5.2.5 OSI Layer 3

Es la Capa de Red y aquí se define el direccionamiento lógico que nos sirve para identificar una máquina en toda la red. Se definen métodos de selección de trayectorias, conmutación, y enrutamiento para la transmisión de información de dos dispositivos.

Este nivel vela por que los paquetes sean dirigidos a su destino en la red. Un protocolo de red importante en esta Capa es el IP, que en el caso de CDMA2000 1x con el fin de permitirle movilidad al MS, se opta por el protocolo “Mobile IP” el cual se explicará más adelante.

5.2.6 OSI Layer 2

Es la Capa de Enlace y se encarga de proporcionar un tránsito de datos confiable a través de un enlace físico (puntos adyacentes de la red). La Capa de Enlace se encarga del direccionamiento físico, topología de red, acceso a la red, entrega ordenada de tramas y control de flujo. Un protocolo correspondiente en esta Capa utilizado en CDMA2000 1x es ATM (Asynchronous Transfer Mode). Esta Capa de Enlace se divide en dos Subcapas: LAC y MAC (Link Access Control y Media Access Control respectivamente).

5.2.6.1 Subcapas MAC y LAC

La funcionalidad de la Subcapa LAC es de controlar la comunicación punto a punto (Point-to-point) entre las capas superiores de las entidades en cuestión. Provee una transmisión de los datos en la correcta secuencia sobre la interfaz de radio. Alternativamente si las Capas más bajas proveen un nivel adecuado de QoS, la Subcapa LAC se puede omitir.

Por otro lado, la Subcapa MAC provee tres importantes funciones. Los procedimientos conocidos como “MAC control states” que se encargan del control del acceso de servicios de datos (tanto de paquetes como de circuitos) hacia la Capa Física (incluyendo el mecanismo de Contensión⁴ entre múltiples servicios de un solo usuario así como entre varios pertenecientes a la Red Inalámbrica).

La segunda función conocida como “Best effort delivery” provee la confiabilidad para la transmisión de datos sobre la interfaz de radio con asistencia del RLP (Radio Link Protocol), asegurando la integridad de los paquetes de datos.

Por ultimo, la tercera función denominada como “Multiplexing and QoS control” permite el manejo de niveles de QoS para que de esta manera se pueda ofrecer prioridad a ciertos servicios y peticiones de acceso.

El protocolo SRBP (Signaling Radio Burst Protocol) perteneciente a esta Subcapa, se encarga del soporte de mensajes.

⁴**Contensión:** Técnica perteneciente a la Subcapa del OSI Layer 2 o Capa de Enlace en donde todos los dispositivos comparten un mismo medio de transmisión y solo pueden transmitir en éste siempre y cuando no haya nadie más transmitiendo información.

5.2.7 OSI Layer 1

Es la Capa Física en donde se definen las especificaciones eléctricas, mecánicas, de procedimiento y funcionales para activar, mantener y desactivar el enlace físico entre sistemas finales. En CDMA2000 1x esta Capa está ligada con las funciones de Modulación y Codificación, procesos descritos en el Capítulo 3.

5.3 Packet Data Calls en CDMA2000 1x

La información en paquetes de datos (Packet Data Calls) le permite a los usuarios intercambiar datos entre el MS y la Red IP. Para soportar esta modalidad, es necesario que la Red de Telefonía Celular disponga del PDSN para que funcione como “interfaz” entre la transmisión de datos en la Red Fija y la transmisión de datos sobre la interfaz inalámbrica. El PDSN establece comunicación con la BS a través del PCF el cual puede ser implementado junto con la BS.

5.3.1 Estados para proporción de Servicios de Paquetes de Datos

Existen tres estados para brindar Servicios de Paquetes de Datos:

- **Active/Connected State:** El Canal Físico de Tráfico existe entre el MS y la BS, en donde cualquier Entidad puede enviar información.
- **Dormant State:** No existe el Canal Físico de Tráfico entre el MS y la BS pero el enlace PPP entre el MS y el PDSN prevalece.
- **Null/Inactive State:** No existe el Canal Físico de Tráfico entre el MS y la BS ni el enlace PPP entre el MS y el PDSN.

5.3.2 DRS para soporte del Dormant State

Para el soporte del Dormant State o Estado Dormant, CDMA2000 1x provee de un indicador conocido como DRS (Data Ready to Send) el cual es enviado sobre la interfaz U_m o interfaz inalámbrica. Cuando un MS envía un mensaje conocido como “Origination Message” con la opción “Packet Data Service” especificada, se incluye el bit DRS. Este indicador es puesto a 1 cuando se quiere activar una nueva instancia de servicio y cuando la instancia cambia del Estado Dormant al Estado Activo debido a que el MS necesita enviar información y asimismo solicitar el Establecimiento de un Canal de Tráfico o la Renegociación del mismo. Asimismo las conexiones A8 y A10 también se establecen. Si el indicador es puesto a 0, entonces sirve para indicar que el MS ha detectado el cruce de un límite de una “Packet Zone⁵” mientras la instancia del servicio estaba en Estado Dormant. El MS envía el “Origination Message” por cada instancia de servicio para actualizar la red de su posición actual.

⁵**Packet Zone:** Es el área de cobertura en la cual la RAN tiene la habilidad de conectar al MS hacia la misma sesión del PCF mismo que ya se encuentra en Estado Dormant.

Cuando la BS recibe un “Origination Message” con el DRS en 0, la BS retrasa el establecimiento o la renegociación del Canal de Tráfico hasta que el procedimiento en el establecimiento de las conexiones A8 y A10 se hayan completado. En el procedimiento de la conexión A8, la BS le indica al PCF que el bit DRS está puesto en cero mediante el “A9-Setup-A8 Message”. Si el PDSN tiene información que enviar en la instancia del servicio, entonces se lo notifica al PCF en el “A11 Registration Reply Message”, mientras que el PCF hace lo mismo con la BS en el “A9-Connect-A8 Message”. Después de esto, la BS ya puede establecer o renegociar el Canal de Tráfico con el fin de activar el Servicio de Paquete de Datos.

Si el PDSN no tiene que entregar información al MS en la instancia del servicio, el PCF se lo notifica al BS mediante el “A9-Release-A8 Complete Message” con el no-establecimiento de la conexión A8.

5.3.3 Algoritmo para la elección del PDSN para la conexión A10

La elección del PDSN aplica para la primera Instancia del Servicio de Paquete de Datos. Si se quieren realizar consecutivas conexiones A10 (para dos o más instancias), entonces las peticiones tienen que ser realizadas al PDSN ya elegido. Cada PCF tiene una tabla de configuración con las direcciones de los PDSN a los que puede acceder.

PDSN Number	PDSN IP Address
0	a b c d
1	k l m n
....	
N-1	w x y z

En la tabla de configuración, los PDSN son enumerados desde 0 a N-1 en orden ascendente para los “PDSN IP Adresses”. N es el número total de entradas en la tabla.

El siguiente algoritmo tiene que ser usado para la asignación del PDSN inicial y para la reelección del PDSN. (Ver Ec. 5.4).

$$PDSN \text{ No.} = (\text{truncated Mobile IMSI})_{\text{mod } N} \quad (\text{Ec. 5.4})$$

Donde (truncated Mobile IMSI) esta definido por los 4 dígitos menos significativos del IMSI⁶ tomados como valor decimal.

Una vez obtenido el No. de PDSN entonces se le asocia con su respectivo “IP Address” o dirección IP en la tabla de configuración. Si el PDSN seleccionado no puede ser accedido por el PCF entonces el PCF debe seleccionar otro PDSN mediante la Ec. 5.5 hasta N-1 veces con el fin de encontrar una entrada válida.

$$PDSN \text{ No.} = (PDSN \text{ No.} + 1)_{\text{mod } N} \quad (\text{Ec. 5.5})$$

⁶IMSI: International Mobile Subscriber Identity. Es el número asignado al MS por el Proveedor de Servicios de Telefonía Móvil identificando al MS nacional e internacionalmente.

El PCF debe de inicializar el establecimiento de la conexión A10 con el PDSN elegido.

5.4 *Call Flows*⁷

5.4.1 *Inicialización de la Instancia del Servicio de Paquete de Datos por el MS*

Como su nombre lo indica, el MS inicializa la instancia. Existen dos casos para tal categoría:

1. Activación de una Instancia cuando el Servicio de Paquetes de Datos se encuentra en Estado Dormant o en Estado Nulo/Inactivo.
2. Activación de una Instancia cuando el Servicio de Paquetes de Datos está activa.

5.4.1.1 *Activación de una Instancia cuando el Servicio de Paquete de Datos se encuentra en Estado Dormant o en Estado Nulo/Inactivo*

Para inicializar una Instancia del Servicio de Paquete de Datos, el MS tiene que “Registrarse” en primer lugar, con la RAN y posteriormente con el PCN. Desde la perspectiva del sistema inalámbrico, el MS realiza el proceso de autenticación con el MSC, mientras que desde el punto de vista del PCN el PDSN tiene que establecer una conexión con el AAA (vía RADIUS) utilizando protocolos que ayuden la autenticación. La autorización al acceso a la Instancia del Servicio de Paquete de Datos solicitada dependerá del perfil del usuario almacenado en el AAA. Si la autorización es un éxito, entonces el MS podrá tener acceso a la Red IP, en un ejemplo, a un servidor de Internet.

5.4.1.1.1 *Análisis del Caso en Interfaces A8/A9*

En las siguientes líneas se describirá el seguimiento de una Instancia para la Activación de un Servicio de Paquetes de datos detallando sobre el funcionamiento de las interfaces A8 y A9 que se encargan del tránsito de datos del usuario y la información de señalización entre la BS y el PCF.

Los siguientes mensajes son requeridos para soportar el transporte de paquetes de datos en la red CDMA2000 1x sobre las interfaces A8 y A9:

- A9-Setup-A8.
- A9-Connect-A8.
- A9-AL Connected.
- A9-AL Connected Ack.
- A9-Release-A8.
- A9-Release-A8 Complete.
- A9-Update-A8.
- A9-Update-A8 Ack.
- A9-Disconnect-A8.
- A9-BS Service Request.
- A9-BS Service Response.

⁷*Call Flow: Diagrama en donde se muestran las distintas trayectorias que se siguen en una llamada (de voz o de datos) en un Sistema de Telefonía Celular Móvil*

La interrelación de las Entidades de Red para este caso se ilustra en la Fig. 5.6.

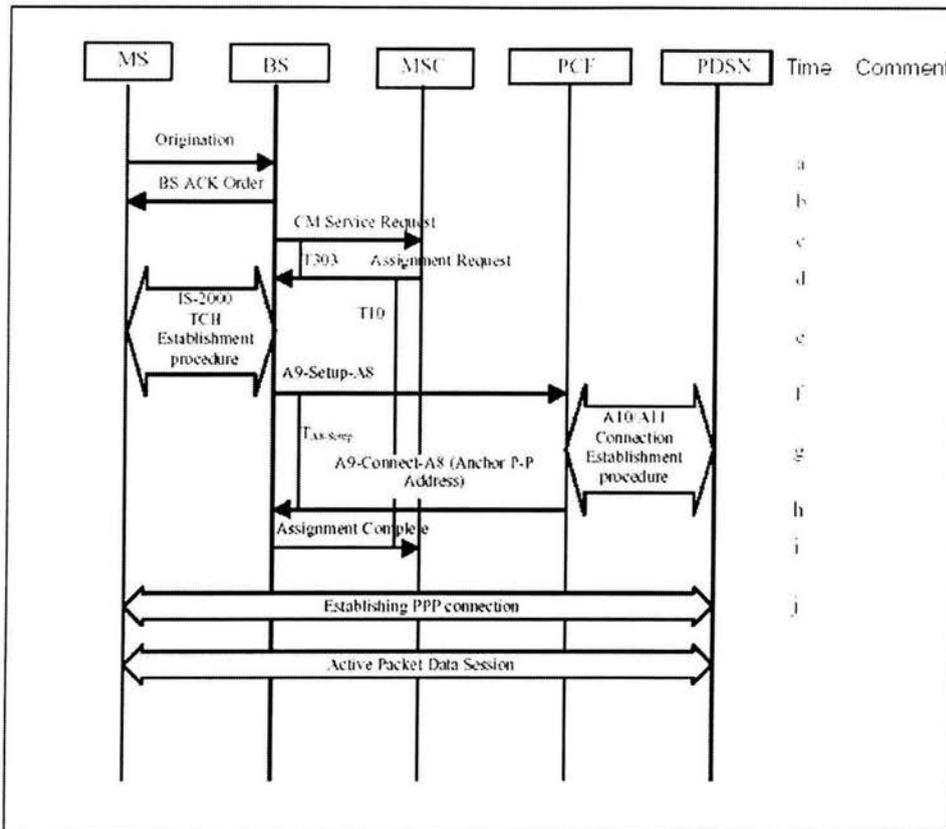


Fig. 5.6 Activación de una Instancia cuando el Servicio de Paquete de Datos se encuentra en Estado Dormant o en Estado Nulo/Inactivo (Interfaces A8/A9)

- a) El MS transmite el “Origination Message” con el valor de DRS puesto en 1 sobre el Canal de Acceso en la interfaz Um (air interface) mandado a la BS con el fin de solicitar el Servicio de Paquetes de Datos.
- b) La BS confirma la llegada del “Origination Message” enviando un “BS ACK Order” al MS.
- c) La BS envía el mensaje “CM Service Request” al MSC (perteneciente a la Capa 3) y empieza el Timer T_{303} .
- d) El MSC envía un “Assignment Request Message” a la BS para solicitar la disponibilidad de los recursos de radio y empieza el Timer T_{10} . La BS detiene el Timer T_{303} .
- e) La BS y el MS inicializan el establecimiento del Canal de Tráfico.
- f) La BS transmite un “A9-Setup-A8 Message” al PCF con el valor del DRS puesto en 1 con el fin de establecer la conexión A8 y se empiece el Timer $T_{A8-setup}$.
- g) Se establece el procedimiento para realizar la conexión A10. (Véase Interfaces A10/A11 de este caso en particular).
- h) Después de establecerse la conexión A10, el PCF establece la conexión A8 y transmite el “A9-Connect-A8 Message” indicando que la operación ha sido un éxito.

- i) Después de recibir el “A9-Connect-A8 Message”, el BS detiene el Timer $T_{A8-setup}$ y transmite el “Assignment Complete Message”. El MSC detiene el Timer T_{10} . Esto último puede ocurrir en cualquier tiempo después de que se haya establecido el enlace de radio.
- j) Si es la primera Instancia del Servicio de Paquete de Datos que se va a inicializar entonces se procede la conexión PPP y el Registro para MIP (tópicos que se tratarán más adelante). Después de ello la conexión PPP vincula al MS y al PDSN para que ya se pueda inicializar la Transferencia de Paquete de Datos.

5.4.1.1.2 Análisis del Caso en Interfaces A10/A11

Igual que en el caso anterior, describiremos para el caso estudiado la señalización llevada a cabo entre el PCF y el PDSN, así como la interfaz destinada al transporte del tráfico del usuario entre estas dos Entidades de Red.

Los siguientes mensajes son los que se requieren para soportar la modalidad y soporte de transferencia de paquete de datos en 3G para las Interfaces A10/A11.

- A11-Registration Request
- A11-Registration Response
- A11-Registration Update
- A11-Registration Acknowledge

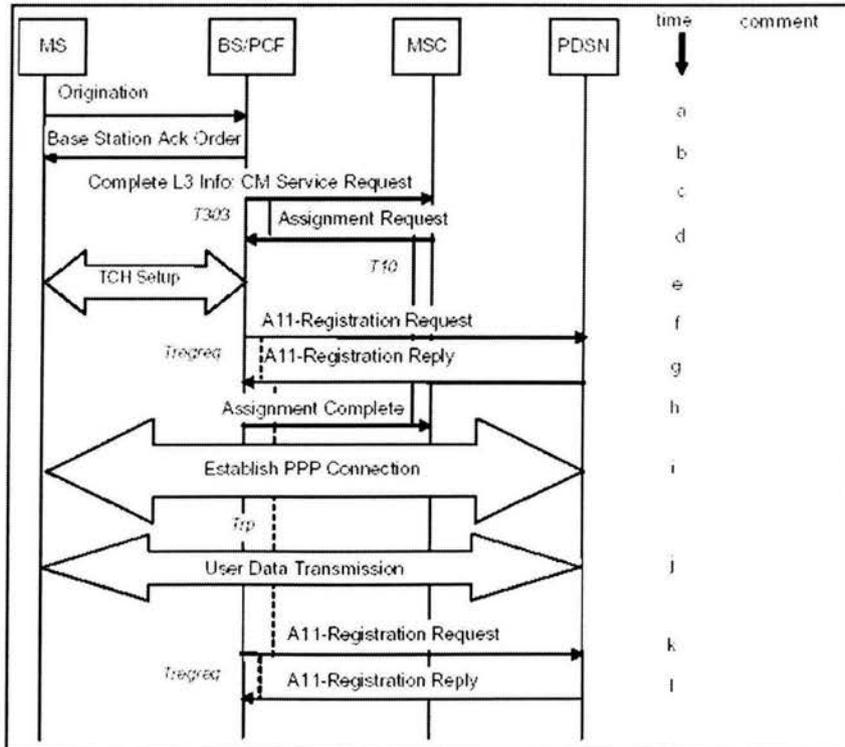


Fig. 5.7 Activación de una Instancia cuando el Servicio de Paquete de Datos se encuentra en Estado Dormant o en Estado Nulo/Inactivo (Interfaces A10/A11)

- f) Tras haber inicializado el Canal de Tráfico la BS y el MS, el PCF trata de reconocer si existe una conexión A10 asociada con el MS, si no existe tal conexión entonces el PCF selecciona un PDSN para la transmisión de datos según el algoritmo descrito anteriormente. Sin embargo, si una o más conexiones A10 ya existen en el PCF, entonces éste selecciona el mismo PDSN para establecer la conexión A10 para la nueva instancia. El PCF empieza el Timer T_{regreq} .
- g) El “A11-Registration Request Message” es validado y el PDSN acepta la conexión retornando un “A11-registration Reply Message” estableciendo un “Lifetime” o Timer T_{rp} . El PCF detiene el Timer T_{regreq} .
- h) Después de que el enlace de radio y la conexión A10 son inicializados, la BS envía un “Assignment Complete Message” al MSC. De esta manera, el MSC detiene el Timer T_{10} después de haber recibido este mensaje de la BS.
- i) Si la Instancia del Servicio de Paquetes de Datos es la primera que es inicializada por el MS, entonces el MS y el PDSN establecen la conexión PPP y se realiza el Registro en el MIP, para permitir la movilidad del MS.
- j) El MS empieza a inicializar el proceso de envío/recibo de datos vía GRE (tipo de encapsulación de frames cuyo funcionamiento se detalla más adelante) sobre la conexión A10.
- k) El PCF envía un “A11-Registration Request Message” antes de la expiración del “Lifetime” o Timer T_{rp} con el fin de “actualizar el registro sobre la conexión A10”. El “A11-Registration Request Message” también sirve para enviar información de “accounting” hacia el PDSN. El PCF inicializa el Timer T_{regreq} .
- l) Para un “A11-Registration Request Message”, el PDSN retorna un “A11-Registration Reply Message” con un indicador de aceptación y un nuevo valor del “Lifetime”. El PCF detiene el Timer T_{regreq} y nuevamente el PCF y el PDSN empiezan el Timer T_{rp} .

5.4.2 Liberación de una Instancia del Servicio de Paquete de Datos inicializado por el MS o la BS finalizando en un Estado Dormant

El “Call Flow” para este caso se ilustra en la Fig. 5.8.

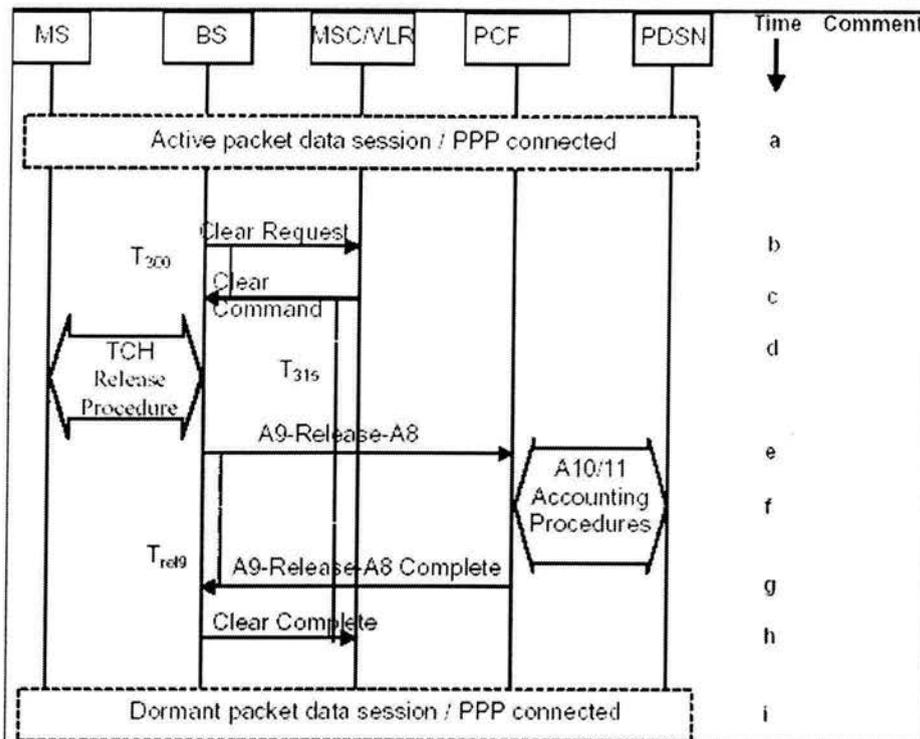


Fig 5.8 Transición del Estado Activo al Estado Dormant inicializado por la BS para una Instancia del Servicio de Paquete de Datos

- a) Mientras una Instancia de Servicio de Paquete de Datos se encuentra activa, se tiene que estar actualizando el Timer relacionado con la inactividad de transferencia de datos. El Timer se tiene que resetear cuando los frames RLP (no-idle) son enviados o recibidos.
- b) Si la actualización no se lleva a cabo, es decir, si este Timer expira, entonces se procede a la liberación del Canal de Tráfico. La BS envía un “Clear Request Message” indicando que la instancia pase al Estado Dormant. Este mensaje es enviado al MSC. Se empieza el Timer T_{300} .
- c) El MSC empieza el Timer T_{315} y envía un “Clear Command Message” a la BS indicándole que los recursos de radio sean liberados. La BS detiene el Timer T_{300} .
- d) La BS inicializa la liberación del Canal de Tráfico.
- e) La BS se comunica con el PCF indicando que se transfiera del Estado Active al Estado Dormant, con el fin de liberar los recursos dedicados. Esto se detalla en el “A9-Release-A8 Message”. Por otro lado, no se libera la conexión A10 debido a que el enlace PPP se mantiene.
- f) Se llevan a cabo las actualizaciones con respecto a la información de “accounting”. El PCF envía al mensaje al PDSN que el Estado Activo realiza una transición a Estado Dormant.
- g) El PCF responde de la llegada del “A9-Release-A8 Message” enviando el “A9-Release-A8 Complete Message” a la BS. La BS detiene el Timer T_{rel9} .
- h) La BS retorna un “Clear Complete Message” al MSC. El MSC detiene el Timer T_{315} y se libera la conexión de transporte.
- i) La Sesión de Paquete de Datos esta en Estado Dormant.

Proceso similar ocurre cuando el MS inicializa la liberación de la Instancia del Servicio de Paquete de Datos, con la diferencia de que si el Timer que sostiene el MS expira, entonces éste se encarga de solicitar a la BS de cerrar la conexión del Canal de Tráfico mediante el envío de un “Release Order” dirigido a la BS con el fin de que se realice una transición del Estado Activo al Estado Dormant.

5.4.3 MS Power Down

5.4.3.1 Análisis del Caso en Interfaces A8/A9

La Fig. 5.9 describe el “Call Flow” asociado con la liberación de una Instancia del Servicio de Paquetes de Datos ocasionado por el apagado de la Unidad Móvil, cuando la Sesión de Paquete de Datos se encuentra activa.

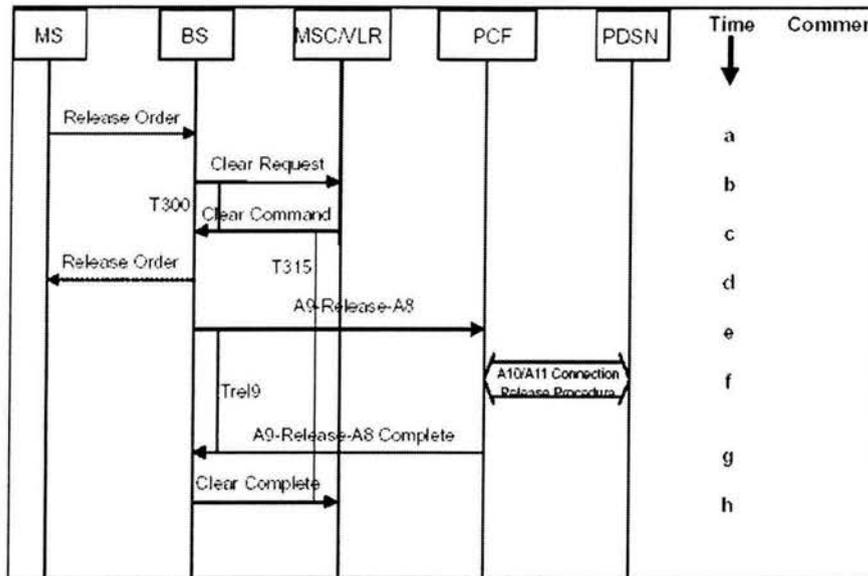


Fig 5.9 MS Power Down (Interfaces A8/A9)

- El MS pasa a un estado de apagado provocando que la Sesión de Paquete de Datos finalice. Por ello se envía un “Release Order” al BS con el indicador de que el MS se ha apagado.
- Posteriormente el BS envía un “Clear Request Message” al MSC para inicializar los procedimientos relativos a “Call Clearing” (Proceso o función así denominado(a) cuando cualquier entidad que está relacionada en la comunicación de voz o datos desea terminar la llamada). Inicializa Timer T_{300} .
- El MSC envía un “Clear Command Message” al BS para que de esta manera ésta pueda liberar los recursos de radio. Se inicializa el Timer T_{315} . La BS detiene Timer T_{300} .
- A respuesta del “Clear Command Message” la BS se lo hace notificar al MS enviándole un “Release Order” para que de esta manera se liberen los recursos de radio.
- La BS envía un “A9-Release-A8 Message” con el indicador de liberación de la Sesión de Paquete de Datos al PCF para instruirle que libere los recursos

asociados con todas las instancias de los servicios de paquetes de datos (tanto activos como dormant) del MS, así como la liberación de las conexiones A10. La BS inicializa el Timer T_{rel9} .

- f) Se inicializa el procedimiento para la liberación de las conexiones A10 (Véase Interfaces A10/A11 de este caso en particular).
- g) El PCF envía un “A9-Release-A8 Complete Message” al MSC. La BS detiene el timer T_{rel9} . La BS y el PCF liberan todas las conexiones A8 para el MS.
- h) La BS retorna un “Clear Complete Message” al MSC. El MSC libera todas las conexiones de transporte y detiene el Timer T_{315} . El Clear Complete Message puede ser enviado en cualquier tiempo después de que el Canal de Tráfico sea liberado.

5.4.3.2 Análisis del Caso en Interfaces A10/A11

Para el caso analizado, se describirá el procedimiento que ocurre para las Interfaces A10/A11. (Véase Fig. 5.10).

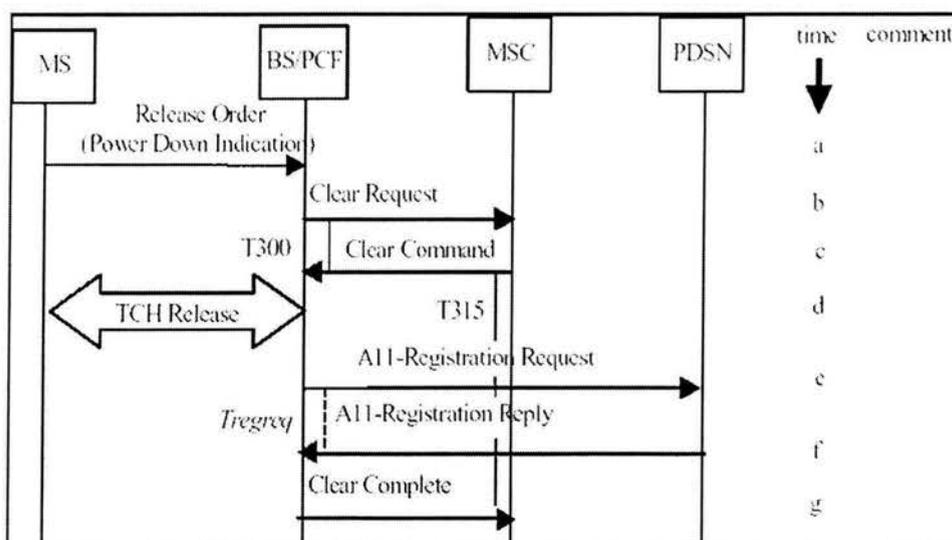


Fig 5.10 MS Power Down (Interfaces A10/A11)

- e) Una vez que se hayan liberado los recursos de radio por parte del BS (liberación del Canal de Tráfico) entonces el PCF envía uno o más “A11-Registration Request Messages” al PDSN con el valor del “Lifetime” (el cual es un Timer) puesto en cero para liberar cada conexión A10 (tanto activos como dormant). Información relacionada con el “accounting” es enviada en el mensaje. El PCF empieza el timer T_{regreq} asociado con cada mensaje.
- f) El PDSN almacena la información relacionada con el “accounting” para un procesamiento en el futuro y responde con el “A11-Registration Reply Message” con un indicador de aceptación para completar la liberación de las conexiones A10. El PCF detiene el Timer T_{regreq} .
- g) La BS envía un “Clear Complete Message” al MSC. El MSC detiene el Timer T_{315} .

5.5 IP Móvil para Soporte de Packet Data Calls

5.5.1 Conceptos y ventajas de IP Móvil en el Soporte de Packet Data Calls

Con el desarrollo de la informática portátil y de la implantación de los sistemas de comunicaciones móviles ha llevado a que los usuarios accedan a una red en cualquier momento y en cualquier lugar, aún cuando se encuentren en movimiento.

Los protocolos a nivel de la Capa de Red del Modelo de Referencia OSI (tales como IP, IPX⁸ o AppleTalk⁹) son usados en ambientes alámbricos en donde los dos puntos de comunicación (fuente y destino) son fijos y estáticos.

Si aplicamos el mismo concepto a un ambiente móvil en donde el MS se desplaza de una red a otra (es decir, de una Packet Zone a otra) manteniendo la misma dirección de IP, el MS ya no podrá ser localizado y por lo tanto la conexión ya no será exitosa. Los paquetes que se pretendan dirigirse al MS a su nueva posición, serán enviados al antiguo punto de conexión a la red.

Enfrentando a esta problemática surge el concepto de “IP Móvil” o MIP permitiendo que el MS circule libremente por la red, manteniendo siempre una misma IP (la cual es la obtenida en la Red Local o de Origen), sin tener la necesidad de recurrir al establecimiento de cierre y apertura de nuevas sesiones que involucren una excesiva señalización y saturación de la red.

Los elementos que contribuyen al funcionamiento del MIP son: el agente local o “Home Agent” (HA) y un agente externo o “Foreign Agent” (FA) los cuales se interrelacionan con el MS para que éste siga conservando su dirección inicial IP. (Véase Fig. 5.11).

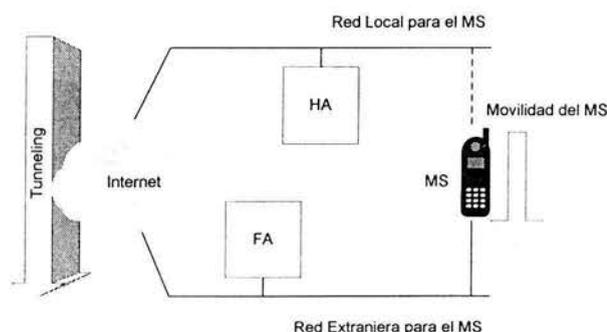


Fig. 5.11 Escenario utilizado por el protocolo “IP Móvil”

La implementación de “IP Móvil” es la solución más eficaz entre los métodos conocidos para proporcionar movilidad a los MS. Otras soluciones son el establecimiento de rutas específicas para terminales con movilidad, cambio de la dirección IP de los MS y esquemas basados en cambios realizados a nivel de la Capa de enlace.

Para el caso del establecimiento de rutas específicas para los MS con movilidad se necesitaría la reconfiguración de las tablas de encaminamiento de los dispositivos de interconexión de red (routers) con el fin de que se pueda contactar al MS en su nueva posición. Esto ocasionaría en el gran incremento de tráfico que se generaría en la red

⁸IPX: Internetwork Packet Exchange. Protocolo operante en la Capa de Red perteneciente a Novell y cuyo funcionamiento está orientado a no conexión.

⁹AppleTalk: Protocolo operante en la Capa de Red propietario de Apple.

para soportar la movilidad de los MS, y por lo tanto la actualización de todos los routers entre el enlace local y el nuevo punto de enlace. El colapso en la red podría ocasionarse debido al gran número de MS existentes en la misma así como la velocidad con que éstos cambian de ubicación.

El segundo caso se refiere al cambio constante de la dirección IP cada vez que se cambie el MS de “Packet Zone”, esto conllevaría a la actualización repetida e instantánea (ya que si no es así la dirección IP puede ser errónea) del sistema de nombres de dominio (DNS¹⁰) cada vez que el MS cambie de dirección IP. Debido a la velocidad con el que un MS puede cambiar de dirección IP, se debe verificar la actualidad de la dirección IP otorgada por el DNS. Esto trae el problema de un tráfico excesivo en la red debido a un número alto de consultas y actualizaciones. Por otro lado, el cambio de dirección IP provoca el cierre inmediato de todas las aplicaciones del MS abiertas asociadas a la antigua dirección IP.

En el tercer caso se basa en el “Cellular Digital Packet Data” (CDPD) el cual es un estándar para la transmisión de paquetes IP vía canales de radio no utilizados por el servicio de voz. El CDPD asigna a cada MS una IP fija dentro de su área de “Cobertura”. La inconveniencia de este caso es que sólo proporciona movilidad para un solo tipo de medio físico. Para N tipos de medios físicos diferentes, se requieren N soluciones de movilidad diferentes. Asimismo su movilidad aplica solo a un área geográfica delimitada.

Una ventaja primordial de “IP Móvil” es que no contribuye a la proliferación de nuevas direcciones IP (frena el problema de escasez de direcciones de IPv4 o IP versión 4) ya que asigna a cada MS una única dirección IP en todo momento.

5.5.2 Funcionamiento del IP Móvil

- El HA y el FA se hacen presentes ante el MS mediante mensajes de anunciamiento que se generan periódicamente en la red. Por otro lado el MS puede solicitar tales mensajes a un agente cercano a través de un mensaje de solicitud de agente (éste último tiene el objetivo de forzar a cualquier agente ubicado en el mismo enlace a transmitir un mensaje de anunciamiento de agente de manera inmediata).
- El MS recibe el mensaje de anunciamiento y determina si se encuentra en su Red Local o en una Red ajena.
- Si el MS se encuentra en su Red Local: Opera sin funciones de movilidad. (El MS actúa como nodo fijo).
- Si el MS se encuentra en su Red Local tras haber regresado de una Red ajena: Procede a la desregulación a través del HA.
- Si el MS se encuentra en una Red ajena: Obtiene su dirección de cuidado (care-of-address) en la nueva red.
- Si el MS se encuentra fuera del alcance de un HA o FA: Obtiene su dirección de cuidado como una dirección IP local a través del DHCP¹¹ (Dynamic Host Configuration Protocol).

¹⁰**DNS:** Domain Name System or Service. Servicio proporcionado por la Red IP en donde se realiza un mapeo de los nombres de los dominios a sus correspondientes direcciones IP.

¹¹**DHCP:** Dynamic Host Configuration Protocol. Es un protocolo de comunicaciones que le permite a los administradores de la red de controlar a nivel central y automatizar la asignación de direcciones IP.

- El MS registra su “care-of-address” con su HA, mediante el envío de una solicitud de registro hacia este último. Por su lado, el HA envía un mensaje de contestación.
- Paquetes que sean enviados al MS son interceptados por el HA y enviados mediante “tunneling” por éste hacia el “care-of-address”. En el extremo del túnel, el FA recibe el paquete y lo envía al MS.
- Los paquetes originados por el MS pueden ser transportados hasta la dirección IP de destino sin pasar necesariamente por el HA.

5.5.3 Procedimientos del IP Móvil

5.5.3.1 Descubrimiento de agente

Procedimiento utilizado en el “IP Móvil” mediante el cual el MS determina si se encuentra conectado a su Red Local o a una Red ajena, si se ha desplazado de un enlace a otro, y también sirve para obtener una dirección de cuidado cuando se encuentra conectado a una Red No Local.

5.5.3.2 Registro para MIP

Tal como se vio en el seguimiento de una “Packet Data Call”, es necesario que el MS realice el procedimiento de registro con el fin de que pueda transferir información mediante la conexión PPP. El protocolo MIP tipifica varias circunstancias bajo las cuales todo MS debe registrarse. El primer caso reside cuando el MS detecta que su punto de conexión a Internet ha variado respecto a un instante anterior. Un segundo caso estriba en el hecho de que sin haber cambiado su punto de conexión a Internet, el registro anterior está a punto de caducar (expiración de un Timer). Por último, cuando el MS en una Red ajena detecta que su FA ha reiniciado.

En este proceso, el MS informa a su HA de su “care-of-address” en la red. Por otra parte, si el MS detecta que ha regresado a su Red Local tras haber estado en una Red ajena, entonces primero se ejecuta el proceso de desregistro con su nodo local para que pueda ya funcionar como nodo fijo.

Los siguientes pasos se llevan a cabo para el registro del MIP:

- El MS envía un mensaje de petición de registro. Se envía directamente al HA o vía FA.
- El HA recibe la petición de registro y envía al MS un mensaje de contestación de registro, indicando si se ha aceptado o no la petición.
- Si no ha recibido contestación el MS, retransmite las peticiones de registro.

▪ **Petición de registro**

En la petición de registro, el HA puede crear o modificar la entrada del MS en su lista de nodos con movilidad.

▪ **Respuesta de registro**

Si el MS solicita el servicio a través del FA, éste recibe la contestación del registro y la envía posteriormente al MS.

Este mensaje informa al MS sobre el resultado de su petición de registro, que puede ser inferior o igual al solicitado por el MS. El FA no puede en ningún caso modificar el tiempo de vida asignado por el HA.

5.5.3.3 Encaminamiento de Paquetes y Tunneling

5.5.3.3.1 Encaminamiento de Paquetes

El Encaminamiento de Paquetes se refiere al proceso de cómo los paquetes son trasladados desde su dirección IP de origen hasta la dirección IP de destino en función de la situación del MS. La situación del MS dependerá si éste se encuentra conectado en su Red Local o si se encuentra en una Red ajena.

Si el MS se encuentra en su Red Local, entonces se desempeña como un nodo fijo, entonces el Encaminamiento de Paquetes es similar que el Encaminamiento de Paquetes IP mediante un router convencional. Por otro lado, si el MS se encuentra en una Red ajena y los paquetes se dirigen hacia el MS, entonces es necesario que los paquetes sean encapsulados desde la Red Local. Los paquetes tienen que llegar a un nodo intermedio para que después se desencapsulen y se envíen al destinatario final.

Tratándose de este caso, las siguientes operaciones son efectuadas para el Encaminamiento de Paquetes.

- El HA anuncia que hay conectividad hasta el prefijo de red equivalente al de la dirección local del MS. Por lo tanto, todo paquete que se destina al MS es encaminado hacia su Red Local y es recibido por su HA.
- El HA intercepta el paquete destinado al MS y busca en su entrada la lista de movilidad para conocer las “care-of-addresses”.
- El HA envía una copia del paquete hacia cada “care-of-address” a través de túneles (tunneling). Antes de enviar el paquete por el túnel se procede al encapsulamiento cuya dirección de destino es la “care-of-address”.
- Finalmente para cada “care-of-address” se extrae el paquete original y es entregado al MS.

Si el MS se encuentra en una Red ajena y los paquetes parten desde el MS entonces éste debe de encontrar un router que le de salida a estos paquetes, en donde generalmente es el mismo FA.

5.5.3.3.2 Tunneling

Cuando se van a enviar los paquetes desde el HA al FA es necesario su encapsulamiento o “tunneling”, y consiste en el proceso de inserción de un paquete IP dentro de otro paquete IP o de otro tipo. El encapsulado de datos viaja a través del túnel el cual se encuentra definido dentro de una Red de Tránsito (tal como Internet).

En otras palabras el paquete, resultado de ese proceso, es enviado a un nodo intermedio entre el nodo original y el nodo destino final vía VPN.

La VPN es una red en donde se asegura la privacidad de que los paquetes que viajen a través de una Red Pública solo sean conocidos por los agentes asociados con dicha red, evitando de esta manera a que terceros gocen de los privilegios de la red. (Véase Fig. 5.12).

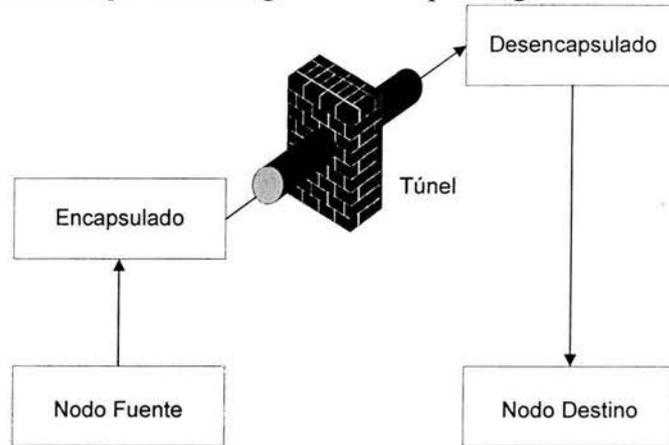


Fig. 5.12 Escenario típico para acciones de Tunneling

El nodo encapsulador es generalmente el punto de entrada al túnel y el nodo desencapsulador el punto de salida del túnel.

A continuación se presentan los tipos de encapsulado que el HA emplea para enviar los paquetes a través de túneles.

5.5.3.3 Encapsulado IP-in-IP

Consiste en la inserción de una cabecera IP adicional antes de la cabecera propia del paquete inicial (Véase Fig. 5.13). Como se ilustra en la Fig 5.13, se insertan otro tipo de Cabeceras (Auxiliares) que permiten proteger el paquete original durante el tunelado para medidas de seguridad.

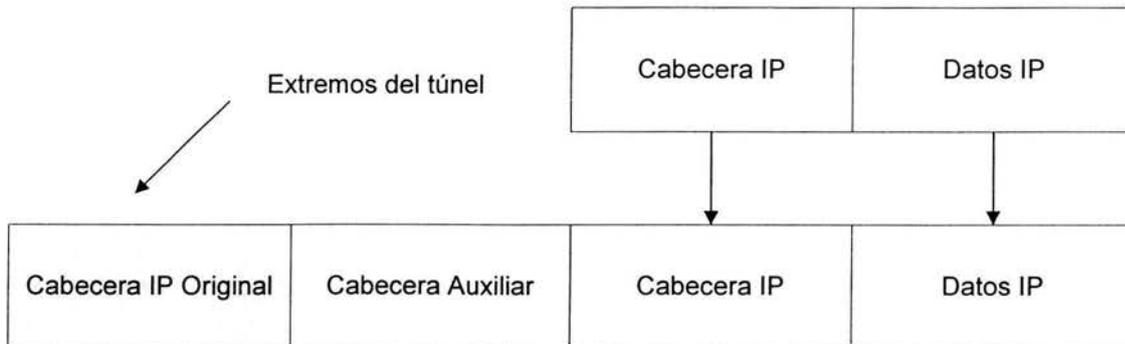


Fig. 5.13 Operación de encapsulamiento

La cabecera exterior contiene información sobre los extremos del túnel. La cabecera interior contiene información sobre los nodos origen y destino del paquete inicial.

5.5.3.3.4 Encapsulado mínimo

El encapsulado generalmente conlleva el duplicado innecesario de numerosos campos de la cabecera IP interna. El encapsulado mínimo minimiza al máximo la información de overhead de encapsulado y así se disminuye el tamaño del paquete resultante. (Véase Fig. 5.14).

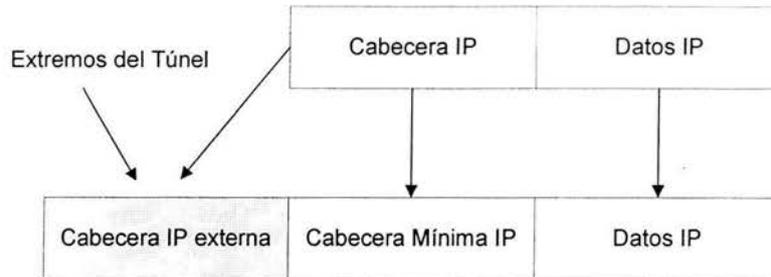


Fig. 5.14 Encapsulado mínimo

Como se observa, la cabecera IP original es modificada y la cabecera de encapsulado mínimo es insertada entre la cabecera IP externa y la información.

Cuando se desencapsula el paquete con esta técnica, se deben restaurar los campos modificados en la cabecera original con los datos de la cabecera de encapsulado mínimo, actualizando los campos que así lo requieran.

5.5.3.3.5 Encapsulado GRE para CDMA2000 1x

Es el protocolo de Encapsulación de Enrutamiento Genérico. A igual que los protocolos de túnel antes mencionados, se utiliza para definir VPN (Virtual Private Networks).

GRE se encarga del encapsulamiento de datos para enviarlos al túnel mas no crea dichos túneles, de eso se encarga el protocolo PPTP. (Point-to-Point Protocol Tunneling).

El PPTP encapsula los paquetes del protocolo PPP con datagramas IP para transmitirlos por una Red IP como Internet o una Intranet privada. Asimismo este protocolo utiliza una conexión TCP conocida como la conexión de control del PPTP para crear, mantener y terminar el túnel, y una versión modificada del GRE, para encapsular los paquetes PPP como datos para el túnel. Las cargas de los paquetes encapsulados pueden estar encriptadas o comprimidas o ambas cosas.

GRE es el tipo de encapsulación más flexible ya que permite su operación en cualquier tipo de paquete, incluidos los paquetes IP.

También puede ser usada para direccionar paquetes de múltiples aplicaciones (multicast) sobre redes que no son siempre compatibles.

El formato del paquete GRE aparece en la Fig. 5.15.

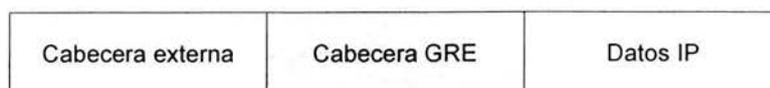


Fig. 5.15 Formato del paquete GRE

5.5.3.3.6 IPSec para el Tunneling

La seguridad IP (IPSec) es un estándar de Internet para establecer y administrar la privacidad de los datos entre redes de entidades sobre infraestructuras no protegidas como Internet.

La configuración de IPsec en modo túnel permite el cifrado de todos los datagramas de una red con destino la subred remota con un túnel seguro en los routers de conexión a Internet. El empleo de los túneles de IPsec es la solución más flexible en la actualidad a la hora de realizar VPN seguras, ya que no requiere ninguna modificación en las configuraciones de los equipos de las subredes.

Capítulo 6

Caso Práctico: Alojamiento de aplicaciones en el Sistema BREW[®] y su esquema de funcionamiento en una Tecnología de Tercera Generación

6.1 *Desarrollo de aplicaciones bajo BREW[®]*

Como se mencionó anteriormente, el desarrollo de aplicaciones multimedia que sean capaces de interactuar con la Red IP ya es posible, gracias al Hardware de los MS así como las mejoras residentes en la infraestructura de un Sistema de Tercera Generación, en donde se optimiza el transporte de paquetes de datos.

BREW[®], al ser un ambiente de desarrollo (entre otras de sus funcionalidades), nos permite la creación de aplicaciones cuyo propósito es que al final de todo un proceso, mismo que será descrito en las siguientes líneas, éstas puedan ser entregadas hacia al usuario final. Para ello se debe de constar con los mecanismos que se integren a la infraestructura de un Sistema de Tercera Generación propios de QUALCOMM[®] que den el alojamiento y soporte para el manejo de las aplicaciones desarrolladas en el estándar BREW[®].

Una primera fase consiste en la programación (diseño) de una aplicación propia del Internet Móvil la cual es descargada por los desarrolladores hacia al MS, para fines de prueba y correcta ejecución de la misma aplicación. Debido a las características que encierra el MS (tal como el de disponer chips programables), se permite la manipulación de las aplicaciones dentro de un sistema de navegación propio del MS, en donde éste puede alojar un determinado número de las mismas. Dicho número estará limitado por la cantidad de memoria utilizable definido por la Unidad Terminal. (Véase Fig. 6.1).



Fig. 6.1 Alojamiento de aplicaciones en el MS para sostenimiento de pruebas, desarrolladas en el Laboratorio UNAM-QUALCOMM[®]

Con lo mostrado anteriormente, el usuario tiene bajo la interfaz BREW[®], un mosaico de aplicaciones las cuales podrá eliminar o si así lo desea, descargar otras con el fin de agregarse al catálogo residente en el MS.

Como se mencionó en el Capítulo 4, es necesario que varios agentes externos interactúen en la infraestructura de un Sistema de Tercera Generación para que se determinen récords que provean información sobre las aplicaciones descargadas, perfiles de usuario, tiempo, momento y número de descargas de las mismas, para tomar el control sobre el número de licencias que conciernen a una aplicación en particular.

A partir de ello, el BDS (BREW[®] Distribution System) se consolida como una solución óptima para la entrega de servicios de datos y de tarificación para los agentes externos (en donde los desarrolladores toman un papel primordial). Es por ello que BREW[®], además de ser un sistema que permita la creación de aplicaciones, también proporciona las herramientas para la entrega y la realización de “billing” o tarificación de las aplicaciones.

6.2 Solución BREW[®] (BDS)

El sistema BDS se ofrece como un medio independiente del Hardware en la infraestructura de un Sistema de Tercera Generación el cual habilita la participación de agentes externos. BDS es un sistema que se vuelve desarrollable sobre cualquier dispositivo terminal (incluyendo PDA o Personal Digital Assistants) y que no se compromete a un tipo de red en particular. En sí, la solución BREW[®] consiste en la ejecución de un ambiente de una aplicación (Cliente BREW[®]) que “corre” en la Capa alta del chipset del dispositivo, misma que se integra al BDS.

A continuación se muestran las fases que prosiguen al desarrollo de la aplicación para que finalmente el usuario pueda descargar la misma en el MS y así se puedan establecer los métodos de pago destinados a cada uno de los agentes externos (comercializadores, desarrolladores, entre otros). (Véase Fig. 6.2).

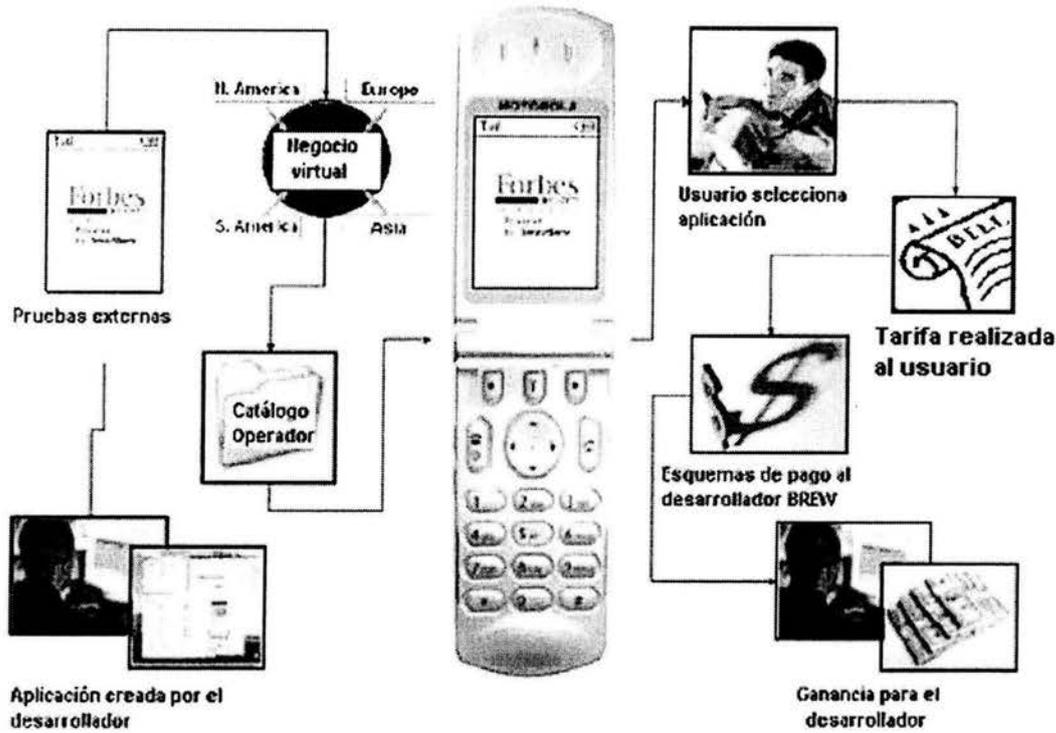


Fig 6.2 Diagrama generalizado para el alojamiento de una aplicación y retribución en el esquema de negocio al desarrollador

Como se puede observar el BDS habilita la negociación virtual, la cual permite el ingreso de las aplicaciones de los desarrolladores y con ello facilita la prueba de éstas en agencias terceras. En este tipo de negociación virtual participan tanto el Proveedor de Servicios de Telefonía Móvil como el desarrollador, en donde se establece el “precio” en sí de la aplicación que va a ser ofrecido al usuario final (establecimiento de planes de negocio). Esta fijación de precio se le conoce como “Retail Price” el cual es desplegado hacia los suscriptores en sus MS vía catálogo. Como se verá más adelante el UAM (Unified Application Manager) es la entidad en donde se ejecutan tales procesos.

Una vez que la aplicación se encuentre en el catálogo del operador, el usuario podrá descargarla mediante el “BREW® Application Manager”, el cual permite adquirir o tener el manejo sobre las aplicaciones BREW® en el MS. Una vez adquirida la aplicación, se realiza la correspondiente tarificación al usuario final y al mismo tiempo se crean los récords relativos a las ganancias destinadas al desarrollador.

Un esquema que muestre más a detalle acerca de los elementos o entidades que participan en el alojamiento de las aplicaciones en los servidores y que ponga en evidencia la interrelación operador-desarrollador en el Sistema BREW® se puede ver en la Fig. 6.3.

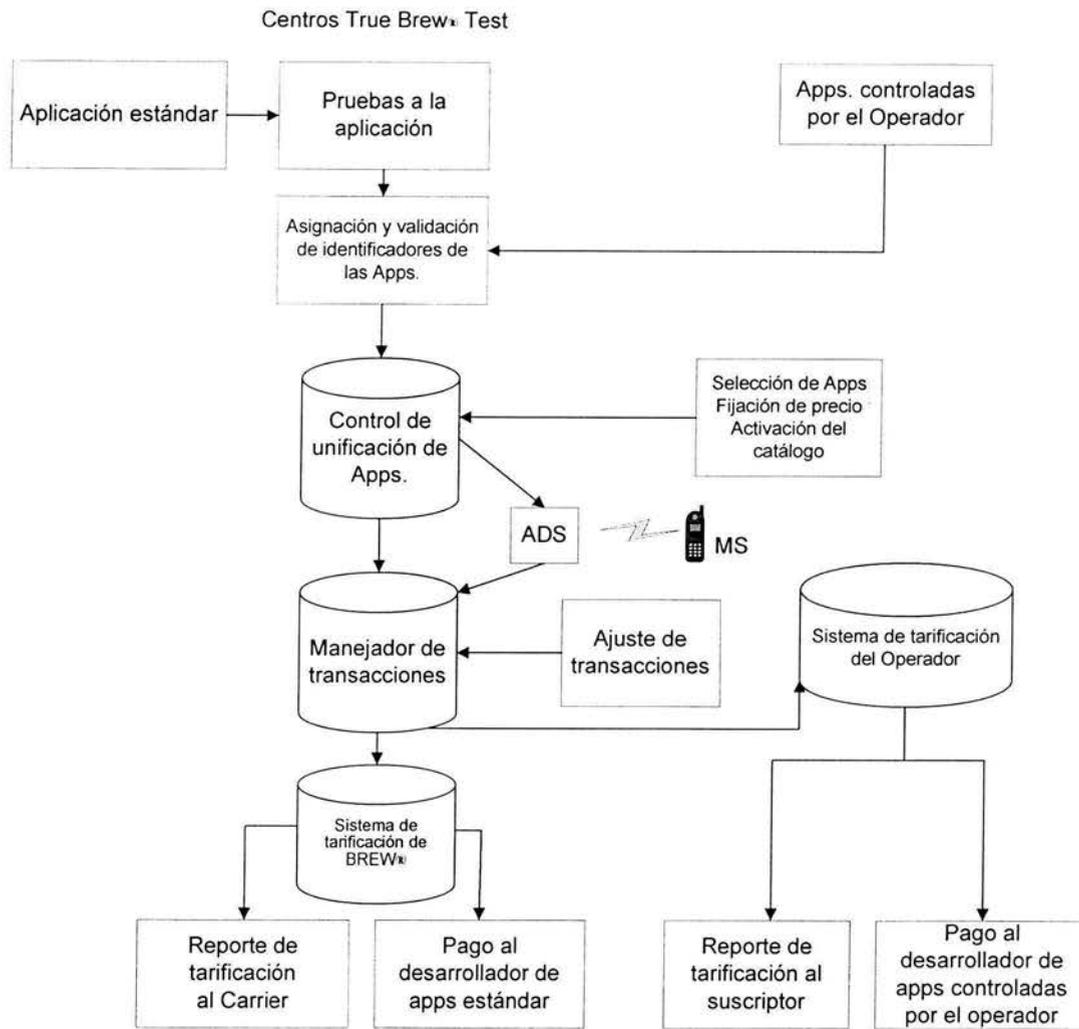


Fig. 6.3 Funcionamiento del BDS

En primera instancia, las aplicaciones se clasifican en dos categorías: aplicaciones estándar y aplicaciones controladas por el operador. Las primeras se distinguen de las segundas en que aquéllas tienen que ser sometidas a “Centros de Prueba” para fines de diagnóstico en problemas de navegabilidad y de ejecución, mientras que estas últimas no son sometidas a tales pruebas y automáticamente les es asignado un ID que les permitirá identificarse individualmente dentro de todo el mosaico existente de aplicaciones. Una vez que los dos tipos de aplicaciones hayan sido validados por los identificadores, son procesadas y almacenadas en el UAM. Tras haber sido alojadas en esta entidad, el desarrollador se interrelaciona con el operador para establecer los planes de negociación y la fijación del precio para la aplicación.

En un principio los desarrolladores fijan un precio a los operadores para sus aplicaciones, conocido como DAP. Los métodos de tarificación se basan en los siguientes esquemas: suscripción mensual, número de usos (definidos por el desarrollador), número de días en las que la aplicación estará disponible para su uso, minutos disponibles para el uso de la

aplicación, especificación de una fecha de vencimiento en la vigencia de la aplicación, uso de la aplicación como “demo” o uso de la aplicación preinstalada en la Unidad Terminal. Posteriormente a la negociación con el Proveedor de Servicios de Telefonía Móvil, la aplicación se vuelve “visible” en el catálogo del operador. El catálogo es una estructura jerárquica de categorías en donde cada una de ellas contiene un conjunto de aplicaciones. Finalmente, el operador tiene el control del precio final que se le destinará a los usuarios pero no debe en ningún momento alterar el DAP.

Una vez que se haya hecho la actualización del catálogo, el operador especifica fecha y hora para activarlo y llevarlo hacia el ADS (Application Download Server). El ADS es una granja de servidores que son usados para la entrega de aplicaciones vía interfaz de aire, asimismo se encarga de almacenar y enviar las transacciones causadas por los eventos del MS hacia el TXN. Los servidores ADS pueden ser agregados o removidos sin tener que recurrir a algún tipo de interrupción en la descarga de servicios a los usuarios.

Cuando el catálogo esté activado en el ADS, el usuario final accesa a él mediante ambientes que permitan la compra de la aplicación, tal como el servicio de “Get It Now” de Verizon. Si el suscriptor desea descargar una aplicación, entonces un mensaje de confirmación es desplegado en el MS indicando el “precio” de la aplicación. Si el suscriptor confirma la descarga, entonces los paquetes de datos son enviados a través de la interfaz de aire desde el ADS.

Una vez que se hayan descargado las aplicaciones, un mensaje de confirmación (Download Acknowledgement) es enviado al ADS. Éste se encarga de pasar los eventos de transacciones a la entidad TXN (Transaction Manager).

El TXN procesa los eventos realizados por el MS (que son recolectados por el ADS) y convierte cada récord en un “Mediated Usage Record” el cual contiene un conjunto de datos tales como el ID del suscriptor, perfil del desarrollador, tipo de evento, DAP, precio final, etc. Estos récords son exportados al operador y a los Sistemas de Tarificación de BREW[®] para definir el pago realizado a los desarrolladores, al operador y a QUALCOMM[®].

El TXN incluye eventos adicionales que son procesados a través del “billing” del operador y del “billing” de BREW[®]. Estos eventos adicionales son los ajustes de transacciones y eventos de extensiones públicas. Los eventos de extensiones públicas existen cuando el Cliente BREW[®] se compone de extensiones como Java, en donde los usuarios las utilizan para adquirir las aplicaciones deseadas.

En el caso de las aplicaciones estándares, la negociación entre estos tres elementos: BREW[®], desarrollador y “Carrier”, se define en porcentajes de 10%, 10% y 80% respectivamente. Con los récords que se generan a partir del TXN y que después son procesados por el “Billing de BREW[®]” o Sistema de Tarificación de BREW[®], tal acuerdo se vuelve muy aterrizable. Para el caso de las aplicaciones controladas por el operador, éste es el encargado de procesar los “pagos” hacia cada una de las partes, en donde generalmente, el desarrollador obtiene el 20% de las ganancias.

Conclusiones

Con el panorama que se ha visto en la presente tesis acerca de las nuevas tendencias con las que se puedan ofrecer mejores servicios, en donde se involucre la movilidad de paquete de datos, los diferentes proveedores del Sistema de Telefonía Móvil buscan que la emigración que sufra la infraestructura de la red tanto componentes de Hardware como en Software sea lo menos costosa y compatible con la tecnología ofrecida hasta ese momento. Con ello, se asegura que las Entidades de Red se sigan preservando y solo se implementen funcionalidades que permitan el soporte y el traslado de los paquetes de información interactuando con redes tales como el Internet o Intranet, en donde existan servidores que permitan el manejo de aplicaciones multimedia, objetivo que reside sobre los Sistemas de Tercera Generación.

Asimismo con el fin de brindar un mejor servicio con tasas que satisfagan las exigencias de los usuarios, se debe de realizar un buen diseño de la red en donde la ubicación de los Sectores Celulares estén de acuerdo al número de suscriptores al servicio y que la “Capacidad” no sobrepase el límite, con el fin de que no se manifieste en una interferencia del sistema. Para ello es necesario el análisis y estudio de fenómenos que están relacionados con la propagación de la señal en la interfaz de aire que determinarán la “Capacidad” del sistema. Estos fenómenos son el “fading”, el “shadowing”, la difracción, el “scattering”, que de una u otra forma vienen a alterar el nivel de la señal enviada y por lo tanto alterar el valor de la razón SNR. Otros aspectos importantes vienen a reflejarse con la implementación de sistemas controladores de potencia tanto en el Forward Link como en el Reverse Link en los Sistemas de Tercera Generación con el fin de reducir el fenómeno de “fading de Rayleigh” y así seguir manteniendo altas tasas en el transporte de paquetes de información. Por ello el estudio de la movilidad del MS dentro de un entorno afectará las tasas manejadas y con ello la entrega de datos en aplicaciones propias del Sistema de Tercera Generación. En general, la buena planificación de la red cumplirá con las demandas de los usuarios.

La “Capacidad” ha sido tema para que se estudien técnicas para mejorarla. Una técnica ha sido el “Transmit Diversity” que se ha implementado en las BS para el Forward Link. La transmisión de streams en diferentes canales para ser enviados por la interfaz de aire en diferentes antenas permite que el efecto de “fading” a la hora de que llegue la señal en el Receptor del MS se minimice y a la hora de realizar el “Despreading” correspondiente al proceso de demodulación, se recuperen los símbolos que fueron enviados.

Con la introducción de aplicaciones que forman parte de los “Servicios de Valor Agregado”, se han consolidado esquemas de tarificación diferentes a los establecidos por las Redes de Telefonía Celulares de las Generaciones anteriores. El esquema planteado como “Flat Rate” se queda limitado para los sistemas que utilizaban Conmutación de Circuitos. En las redes, donde ya se integran funcionalidades tanto de Conmutación de Circuitos como de Conmutación de Paquetes, que son el resultado de la evolución progresiva de los sistemas 2G a los sistemas 3G, se deben configurar un esquema de “billing” que vaya más acorde con la aplicación y con el nivel de QoS que se tenga. Para

el soporte de CDR que detallen los campos que van de acorde al perfil del usuario, se introduce la Entidad de Red denominada como AAA, la cual puede estar en colaboración con el MSC para llevar el conteo de paquetes destinados y enviados desde el MS.

Las Entidades de Red que se agregan para el Packet Core Network, tales como el PDSN, PCF y AAA se relacionan con las funciones de establecimiento de enlace PPP (que conlleva al soporte del “IP Móvil”), el control de transporte de los datos, así como la autenticación-autorización vistos desde la Red IP.

Como se ha visto a lo largo de la presente tesis, CDMA2000 1x satisface todos los requerimientos especificados en la UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones) así como los documentos correspondientes a IMT-2000. Debido a que el Core Network empleado en cdmaOne[®] soporta la transferencia de paquetes de datos y sus funcionalidades relacionadas con ello se han implementado en las Entidades de Red, se permite la fácil emigración a CDMA2000. La Fase 1 de CDMA2000 emplea el mismo ancho de banda que el empleado en cdmaOne[®] ofreciendo una tasa pico de 144 kbps. CDMA2000 1xEV-DO en donde se destina el uso de la portadora exclusivamente al soporte de la modalidad “High Data Rate”, viene a ser un próximo paso, el cual viene a operar conjuntamente con CDMA2000 1x. Finalmente CDMA2000 1xEV-DV viene a consolidarse como la optimización de los servicios de voz como de datos para ofrecerlos en tiempo real. Desde esta evolución, se podrán ofrecer servicios como VoIP así como la entrega de una calidad de voz comparable a las Redes Alámbricas.

Con la mejora en los protocolos para mejorar la entrega de servicios tales como RLP (el cual provee la técnica de “Mejor Esfuerzo”) se permite el monitoreo y la sincronización de los bytes de los streams entre el Receptor y Transmisor con el fin de notificar sobre los segmentos de información perdidos, para que de esta manera, si así se desea, se solicite la retransmisión de los mismos. Debido a la flexibilidad con que se puede configurar el modo de operación, para servicios de voz se puede optar la no-retransmisión de la información mientras que en paquetes de datos se puede elegir lo contrario.

Asimismo existen otras mejoras que ofrecen una entrega de servicios más eficiente. Por mencionar algunos ejemplos, el protocolo RBP provee el mecanismo de entrega de segmentos de datos cortos sobre los Canales de Tráfico comunes, para que de esta manera no se tenga que recurrir a la designación de Canales de Tráfico dedicados. El protocolo SRLP el cual actúa análogo al RLP, es optimizado para el canal dedicado de señalización, y finalmente el SRBP que actúa análogo al RBP es optimizado para la entrega de información de señalización sobre el canal común de señalización. Con estas mejoras residentes sobre la Capa de Enlace (OSI Layer 2) se permite el transporte rápido en la entrega de múltiples servicios, y generalmente, se construye bajo ATM (tecnología de transporte que ofrece una conmutación a gran velocidad).

Los mecanismos de seguridad, los cuales son necesarios de implementar para asegurar la privacidad del flujo de datos que viajan sobre la Red IP, vienen a ser un tópico interesante ya que el encapsulamiento de paquetes tiene que ser una medida de encriptación en donde la información solo tiene que ser concerniente al MS que la solicita. Debido a esto, la

movilidad de la Unidad Terminal tiene que ser eficiente con el fin de que con una sola Sesión Activa se pueda tener siempre la misma dirección IP independientemente si se encuentra en su Red Local o no. Con ello, se evita la realización de múltiples peticiones o solicitudes de direcciones IP que en un momento dado, pueden converger en el aumento de tráfico de la Red. Sin duda alguna, con el advenimiento de IPv6 se resolverá el problema de agotamiento de direcciones disponibles, y la Capa de Red para las tecnologías entrantes se verá beneficiada ya que la entrega de Servicios de Paquete de Datos se volverá más confiable.

Es por ello que en tecnologías que se aproximan (tales como CDMA2000 3x) la señalización en las Capas Superiores tiene que ser mejorada para aumentar la privacidad, autenticación y encriptación.

Las mejoras residentes en la tecnología de radiotransmisión para brindar servicios de Tercera Generación, CDMA2000, residen primordialmente sobre la Capa Física de la red mejorando los esquemas de modulación y codificación del canal (por ejemplo, empleo de Turbo Codes, inserción de bits de control de potencia, empleo del OTD, del PN Complex Spreader y de los QOF). Asimismo la inserción de Canales Suplementarios, Canales Comunes y Dedicados, y Canales de Paging proveen en conjunto, un mayor desempeño del sistema CDMA. Los cambios realizados sobre la Capa Física proveen una mayor duración de vida útil del Hardware del MS (por ejemplo la batería). El Quick Paging Channel provee los mecanismos para tal resultado.

Por otra parte, el nivel de potencia recibido por la BS dependerá de la sensibilidad del receptor y por lo tanto también contribuirá a la vida útil de la batería. Esto conlleva a la idea de que si un MS necesita emitir un nivel de potencia mayor, el consumo de la batería sería considerable. Para el reconocimiento acerca de la calidad del Forward Link, el MS dispone de un canal denominado como Reverse Pilot el cual provee mecanismos para el control de potencia. Con esta funcionalidad, los Canales Físicos del Forward Link pueden ajustar su potencia.

Por otro lado, la utilización de “Walsh Codes” de longitud variable (permitiendo de esta manera definir Canales Físicos no fijos), facilita el establecimiento de varios “Radio Configurations” con el fin de brindar distintas tasas de acuerdo a las necesidades de los servicios que se entregan hacia el usuario final. Debido a esto, no existe un solo proceso para la generación de un Canal Físico sino que éste estará en función de las tasas de transmisión, tasas de esparcimiento y características de modulación. Esta flexibilidad de definir varias configuraciones permiten la compatibilidad con IS-95. Por ello, los proveedores que poseen esta tecnología de radio pueden emigrar fácilmente a CDMA2000. Sin embargo, CDMA IS-95 (donde la variante A fue establecida para el inicio de la década de los 90's) no es un estándar fuertemente implementado en el mercado por lo que la mayoría de los proveedores optan por otras elecciones que define el IMT-2000, entre ellas WCDMA, el cual se encuentra actualmente muy difundido. La mayoría de los proveedores asiáticos y europeos que se encuentran consolidados con GSM optan por realizar la emigración a WCDMA vía GPRS, ya que invierten en menos costos para comprar nueva infraestructura que soporte CDMA2000.

Independientemente en la elección de las dos variantes que se ofrecen, CDMA es la elección casi unánime de los operadores para servicios de Tercera Generación debido a las ventajas que presenta sobre las demás técnicas de acceso discutidas en el Capítulo 1 de la presente tesis.

Con el estudio generalizado sobre la infraestructura de CDMA2000 se entiende el motivo de dar soporte a aplicaciones propias de Tercera Generación bajo el esquema BREW, en donde QUALCOMM además de dar difusión sobre el uso de aquel estándar 3G, promueve una solución optada por muchos desarrolladores.

BREW[®] además de ser una plataforma que permite el desarrollo de aplicaciones multimedia que posteriormente se alojan en los MS, provee una solución que se integra a la infraestructura de un Sistema de Tercera Generación, permitiendo de esta manera, la participación de agentes externos o “terceros” que se vuelven beneficiados con la descarga de aplicaciones sobre la interfaz de aire (OTA), vía ADS.

Debido al manejo, soporte y transporte de datos en las Unidades Terminales, así como la interacción de éstas con la Red IP, es necesario el diseño de esquemas que soporten los servicios de Tercera Generación. Esto implica, que con las mejoras realizadas tanto en Hardware como en Software para las Entidades de Red, se pueden obtener mejores servicios. Por otro lado, las soluciones híbridas son las que marcarán el paso para la entrega más rápida de peticiones, tal como sucede con el servicio de radiolocalización gpsOne[®] (desarrollado por QUALCOMM[®]), en donde se conjuntan tanto la colaboración del sistema GPS como la solución de la red celular a través del servidor PDE.

Apéndice

Capítulo 1

FEC: *Forward Error Correction.* Técnica de corrección de errores.

FSK: *Frequency Shift Keying.* Es una variante de modulación MSK la cual recurre a la utilización de dos frecuencias. Los cambios de frecuencias son debidas a los niveles binarios de la señal. De esta manera una determinada frecuencia es usada para representar al estado alto, mientras que una segunda representa al estado bajo. En la transmisión "full-dúplex" dos diferentes frecuencias son utilizadas en cada dirección (Forward y Reverse), obteniéndose como resultado cuatro frecuencias de uso.

Facsimile: Transmisión electrónica de documentos impresos a través de una red de telecomunicaciones.

GMSK: *Gaussian Minimum Shift Keying.* Es un método de modulación digital derivado de la modulación por desplazamiento de fase y que se utiliza en el sistema GSM de Telefonía Celular.

IP: *Internet Protocol.* Protocolo que opera en la Capa 3 del Modelo OSI encargado de proveer el direccionamiento lógico y la segmentación de la información (datagramas) que es enviada a través de la red.

Paging: Servicio unidireccional o bidireccional de radiolocalización móvil de personas. El usuario recibe y también envía mensajes por esta vía.

PPP: *Point to Point Protocol.* Es un protocolo de comunicaciones el cual conecta las Unidades Terminales al Internet a través de una conexión dial-up y de líneas dedicadas hacia el ISP.

QUALCOMM[®]: Compañía desarrolladora de estándares basadas en la Técnica de Acceso CDMA.

Spread Spectrum: Tecnología de comunicaciones donde una señal es transmitida sobre una ancha banda de frecuencias, misma que es reconstruida en el receptor.

Transmisión simétrica-asimétrica: Se refiere a la transmisión en cantidad de paquetes de datos trasladados desde el MS o dirigidos a éste. Si la transmisión es simétrica entonces la cantidad de datos transmitidos desde el usuario y los que van dirigidos hacia éste es la misma. Caso contrario reside en una transmisión asimétrica en donde la cantidad no es la misma. Servicios como el e-mail y la navegación por la WWW son predominantemente de transmisión asimétrica, mientras que los servicios de videoconferencia corresponden a una transmisión simétrica.

UIT: *Unión Internacional de Telecomunicaciones.* Es una agencia especializada de las Naciones Unidas en la cual los gobiernos y el sector privado coordinan los servicios y redes mundiales de telecomunicaciones.

VoIP: *Voice over IP.* Término que describe el conjunto de facilidades para el manejo y la entrega de información de la voz utilizando IP. (enviando la señal de voz en forma digital mediante paquetes en lugar de hacer uso de las técnicas concernientes a la conmutación de circuitos).

Capítulo 2

ANSI : *American National Standards Institute.* Es un organismo de estandarización que define estándares tomando en consideración temas de la comunidad técnica. ANSI trabaja en colaboración con organizaciones tales como la ISO (International Standards Organization) y la IEEE (Institute of Electrical and Electronic Engineers).

ANSI-124: Estándar definido por ANSI para intercambio de información de una llamada.

ANSI T1: Es el subcomité encargado de definir los estándares en el ámbito de las telecomunicaciones.

Airlink: Es el par del conjunto de Canales de RF de la Capa Física utilizados para la comunicación entre el MS y la RBS.

ATM: *Asynchronous Transfer Mode.* Estándar definido por la ITU-T para la transmisión de celdas con información de múltiples servicios tales como voz, video y datos. Es una tecnología de conmutación y multiplexación de celdas que combina los beneficios de la conmutación de circuitos (capacidad garantizada y un retardo de transmisión constante) con los de conmutación de paquetes (flexibilidad y eficiencia para tráfico intermitente).

ATM QoS: Utilizando ATM, en donde se puede preseleccionar el nivel de la calidad en términos del servicio, el QoS puede ser evaluado y garantizado en términos del retardo promedio en un "gateway", la

variación del retardo en un grupo de celdas, pérdidas de celdas así como el así como en el valor del bit error rate.

Backbone: Es un enlace de gran capacidad a la cual se le interconectan otras sub-redes. Constituida por una serie de nodos de conexión que forman un eje de conexión principal.

Backhaul o Backhaul Network: Conjunto de Entidades de Red o nodos tales como BS, BSC y MSC así como de interfaces que permiten la comunicación entre estos componentes.

Bluetooth: Tecnología de enlaces de radio de corto alcance entre dispositivos portátiles (como MS) permitiendo la transmisión de información entre un dispositivo y otro.

BER: Bit Error Rate. Es la cantidad de errores ocurrientes en un stream de datos transmitidos.

DS0: Es la unidad base que representa la capacidad para la transmisión digital, dicha capacidad tiene un valor de 64 kbps.

E1: Estándar europeo para la transmisión de 31 canales de tráfico de 64 kbps a una tasa de 2.048 Mbps.

ESN: Electronic Serial Number. Identificación única proveída al MS por un fabricante para la evasión de actos fraudulentos.

Gateway: Componente de la red que actúa como entrada de otra red.

Interfaz R-P: Es la interfaz existente entre el PCF y el PDSN en una red CDMA2000.

ISDN: Integrated Services Digital Network. Es una red que presta conexiones extremo a extremo a nivel digital ofreciendo diferentes servicios, ofreciendo una capacidad básica de comunicación de 64 kbps.

MMC: Multimedia Card. Tarjeta de memoria flash que permite que los datos sean salvados en ella, permitiendo el intercambio de información entre los MS. Asimismo tienen la funcionalidad de ser un medio de almacenamiento para programas (entre ellos los de multimedia).

MGW: Gateway cuya función es puentear la brecha entre la Red de Circuitos PSTN y la Red IP. Los Media Gateways conectan los troncales de señales analógicas (voz) de la PSTN hacia las Redes de Paquetes.

OC3: Portadora óptica que transporta información a una tasa de 155 Mbps.

PLMN: Public Land Mobile Network. Red establecida con el fin de proveer servicios de comunicaciones mediante transmisores de radiofrecuencia a los suscriptores.

PSPDN: Public Switched Packet Data Network. Red establecida y operada por una autoridad administradora de la red encargada de la transmisión de datos en paquetes. Un ejemplo es la Internet.

PCM: Pulse Code Modulation: Técnica de modulación que permite la conversión de una señal analógica a una cadena de bits.

PCN: Packet Core Network. Es el sistema de la red que contiene las funcionalidades de switcheo y proceso de movilidad otorgada al MS, ofreciendo capacidad para el manejo de paquete de datos.

QCELP: QUALCOMM[®] code-excited linear prediction. Es el algoritmo de procesamiento para la voz en CDMA que es especificado en TIA IS-95A.

QoS: Es una medida del performance de una red que refleja la calidad de la transmisión y de la disponibilidad del servicio.

RADIUS: Remote Authentication Dial In User Service. Conjunto de protocolos utilizados para proveer las funcionalidades del AAA hacia los usuarios móviles mediante un servidor establecido.

SDU: Selection Distribution Unit. Conjunto de funciones residentes en la BS.

- Manejador de Tráfico. Intercambio de bits de tráfico con el vocoder asociado o con la funcionalidad RLP (protocolo que provee la técnica de "Mejor Esfuerzo" para el soporte en la integridad de paquete de datos). El manejador puede ser conectado directamente con la interfaz A5.
- Señalización de la Capa 2: Desempeña la funcionalidad de la Capa 2 sobre el protocolo de señalización de la interfaz de aire. Es responsable de la entrega confiable de los mensajes de señalización de la Capa 3 entre la BS y el MS.
- Subcapa de Multiplexación: Multiplexa y demultiplexa la información del usuario e información de señalización de la interfaz de aire.
- Control de Potencia: Administra el control de Potencia tanto en el Forward Link como en el Reverse Link.
- Selección y Distribución de Frames: Responsable por seleccionar el mejor frame proveniente de la interfaz de aire del Reverse Link de los canales que son envueltos en el "Soft Handoff". Distribuye los frames del Forward Link sobre la interfaz de aire a todos los canales envueltos en una llamada.

- *Manejador del Backhaul Frame: Demultiplexa la información de control y el frame recibido del Reverse Link a partir del frame recibido sobre el Backhaul Network. Asimismo multiplexa la información de control y los frames que se transportan sobre la interfaz de aire en el Downlink.*
- *Función de Control: Provee funciones de control.*
- *Manejador de frames Intra-BS: Intercambia frames del backhaul con los canales que son envueltos en un "Intra-BS Soft HandOff".*

Source PCF/BS: La BS o el PCF que está a cargo del control de la llamada y dicha denominación será válida hasta el momento en que dicha entidad ya no tiene el control de la misma.

T1: Estándar americano equivalente a 24 canales de voz multiplexados a una tasa de 1.5 Mbps.

T3: Estándar americano equivalente a 28 líneas T1 a una tasa de 45 Mbps.

Target PCF/BS: La BS o el PCF que está a cargo de la conexión sin ser la "Source PCF/BS".

TIA IS-41: Conocido también como ANSI- 41. Define la operación y coordinación entre sistemas switch a switch o red a red para estándares IS-136 y algunos de 3G.

Transcoder: Dispositivo que realiza la transformación de las señales de una representación digital a otra.

Capítulo 3

BPSK: Binary Phase Shift Keying; Técnica de modulación de una portadora RF mediante el cambio de fase (generalmente de 0 y 180 grados).

Broadcast: Proceso de enviar un frame direccionado a todas las estaciones con las que se tiene comunicación.

Code Trellis: Es una representación gráfica de un código convolucional, en donde cada trayectoria representa un "Code Word". La representación mediante códigos Trellis fueron primero introducidos e implementados en códigos convolucionales con el fin de mejorar el control de errores en un Sistema de Comunicaciones Digitales.

CRC: Cyclic Redundancy Check. Técnica empleada para el control de errores en un Sistema de Comunicaciones Digitales.

Decimación: Es el proceso de descartar algunos valores de la señal de la entrada para producir una salida que tiene una tasa más baja que la entrada. Generalmente, cada n-ésimo chip de entrada es mandado a la salida causando que la tasa a la salida sea 1/n de la tasa de entrada. El valor de cada n-ésimo chip de entrada es repetido a la salida para conformar una salida continua a una tasa reducida.

Decimador: Dispositivo de Hardware encargado de realizar el proceso de decimación.

Despreading: Proceso o técnica en donde se recupera la señal que fue esparcida sobre una banda ancha de frecuencias.

Direct Spreading (DS): Técnica de modulación donde una secuencia pseudo-aleatoria directamente modula en fase a una portadora, incrementando el ancho de banda de la transmisión y reduciendo la densidad espectral de potencia. La señal RF resultante tiene un espectro similar al ruido, que solamente puede ser "interpretada" por el receptor. La señal recibida es sometida al "Despreading" mediante la correlación de ésta y la secuencia pseudo-aleatoria utilizada en el transmisor.

Fading: Fenómeno causado por el arribo de multitrayectorias de la señal transmitida a la entrada del receptor provocando la variación de la intensidad y nivel de la misma debido a las interferencias destructivas causadas por las distintas fases de las multitrayectorias. Se clasifica de acuerdo a la distribución que obedece el fenómeno (Rayleigh, Rice, log-normal, etc).

Filtro FIR: Finite Impulse Response Digital Filter. Es un tipo de filtro digital donde cada salida que es filtrada es calculada a partir de la suma del número finito de entradas. El Filtro FIR puede ser diseñado para obtener una fase lineal (retardo temporal constante).

Ganancia del canal (Channel Gain): La Ganancia del canal está determinada por el mínimo valor posible que le permite a un MS recibir la señal con un número aceptable de frames incorrectos. Los canales de los MS que se encuentran lejanos a la BS, con los que se tiene comunicación, tienden a tener una ganancia mayor con respecto a los MS que se encuentran cercanos a ella. La potencia total transmitida por la BS está determinada por la ganancia de los canales individuales.

HCCC: Hybrid Concatenated Convolutional Code. Arreglo o esquema que consiste en la combinación de la concatenación serial y paralela para optimización en el funcionamiento de los Turbo Encoders.

MAP: Maximum a posteriori algorithm. Es un algoritmo en donde se minimiza la probabilidad de obtener un error sobre un bit o símbolo en el momento de la decodificación (Turbo Codes). Es una manera de optimizar los algoritmos APP en donde se mide la probabilidad de obtener una decisión correcta.

Modo Idle: Un dispositivo está en Modo Idle cuando éste no ha establecido conexión con otros dispositivos.

Modo Stand by: Un dispositivo está en Modo Stand by cuando no está activa la Sesión de Paquetes o el curso de una llamada, sin embargo se encuentra habilitado para la entrada de cualquier conexión y el establecimiento de la misma.

Modo Sleep: Modo que permite conservar la vida útil de la batería del MS, mandándolo al estado de apagado periódicamente para que en un próximo estado encendido, el MS monitoree llamadas entrantes.

OOK: On-Off Key Modulation. Técnica de modulación que se deriva de ASK (Amplitude Shift Keying) en donde se cambia la amplitud debido a la presencia de la portadora o la ausencia de la misma, de acuerdo a los estados binarios 1 y 0.

OQPSK: Offset Quadrature Phase Shift Keying. Técnica de modulación similar que QPSK pero con un offset inicial en fase (generalmente de 45 grados) en uno de sus dos canales binarios. Como resultado, la fase nunca cambia a más de 90 grados en cualquier transición de datos.

PCCC: Parallel Concatenated Convolutional Code. Arreglo o esquema constituido por dos codificadores convolucionales enlazados por un Interleaver.

Puncturing: Método implementado en sistemas CDMA para la eliminación de bits a una determinada razón. También es utilizado para combinar los bits de control de potencia y los símbolos binarios (información codificada) en los Canales del Forward Link.

QPSK: Quadrature Phase Shift Keying. Técnica de modulación de una portadora RF mediante el cambio de fase (generalmente de 0, 90, 180 y 270 grados).

Rake Receiver: Es una técnica del receptor que se aprovecha del fenómeno de las multitrayectorias para mejorar el desempeño del sistema. Múltiples correladores o "fingers" son usados (en forma individual) para procesar las distintas multitrayectorias. Posteriormente las salidas son pasadas a un combinador con el fin de incrementar el nivel total de la señal.

SCCC: Serial Concatenated Convolutional Code. Arreglo o esquema constituido por dos codificadores convolucionales concatenados de forma paralela y recursivos, separados por un entrelazador. Los codificadores constituyentes en este esquema son puestos en una concatenación serial.

Scrambling: Proceso que consiste la permutación en el orden de los símbolos con el fin de mejorar la técnica de corrección de errores (FEC).

SOVA: Soft Output Viterbi Algorithm. Es un algoritmo cuya función es similar que el MAP, que reside en ser un medio de decodificación para los Turbo Codes. Opera bajo la selección de trayectorias mediante trellis.

Spreading: Proceso o técnica por el cual una señal es "esparcida" sobre una ancha banda de frecuencias como una medida de encriptación de la misma señal.

Stream: Secuencia de símbolos que se trasladan en un canal de comunicación en un Sistema de Comunicaciones Digitales.

Capítulo 4

Aliasing: Rango de frecuencias no deseadas que son producidas cuando las armónicas de una señal son muestreadas por un dispositivo digital a una frecuencia debajo de la frecuencia de Nyquist.

Billing: Mecanismos de tarificación debido al manejo de una o múltiples Instancias de Servicios solicitadas por el MS.

Cell breathing: Es el cambio constante en el rango de un área geográfica cubierta por el BS basado en la cantidad de tráfico que le está dando soporte la BS. Cuando un Sector Celular tiene mucha carga de tráfico entonces es redirigida hacia un Sector Celular vecino que tenga menos carga con el fin de obtener un balance en la carga de tráfico.

CMIP: Common management information protocol. Es un protocolo que permite la transmisión de información entre agentes encargados del control de equipo de la red (Operación y Mantenimiento). Asimismo se encarga de enviar el reporte de las condiciones inusuales de la Red de Telefonía Móvil Celular.

Ethernet: Estándar que define la interconexión entre nodos dentro de una Red Local (LAN).

FTP: File Transfer Protocol. Protocolo que permite la transferencia de archivos.

Gold Codes: Secuencia de códigos binarios para realizar el "Spreading" en WCDMA.

Grade of Service: Medida del desempeño de una red representado por el porcentaje de Instancias de Servicios que son perdidas. El GoS puede ser medido en términos de retardos que son manejados en las Instancias de los Servicios.

IRP: Integrated Reference Point. Modelo de información que define la interfaz entre un Network Element (elemento que dispone de una función específica dentro de la red) y los NMS (Network Management Systems).

ISP: Internet Service Provider. Organización que le provee a sus suscriptores acceso a los servicios de la Internet.

Link budget: Es el cálculo representado por la suma de las ganancias y pérdidas sobre la trayectoria inalámbrica definida por el MS y la BS. Se tiene que tener un nivel aceptable de la señal en la entrada del receptor para que resulte en un mejor desempeño del enlace.

Mediation Server: Servidor intermediario que para el caso ilustrado, provee de información sobre la tarificación con objetivo de mejorar el desempeño del sistema en colaboración con el AAA.

Neighbor-list: Véase Neighbor-Set (Capítulo 4).

Pole capacity: Capacidad teórica definida por la suposición en que los MS involucrados, transmitieran los canales a una potencia infinita.

QMIP: Implementación propietaria de CMIP. Véase CMIP.

RAN: Radio Access Network. Es el sistema de la red que contiene todas las funciones que habilitan al usuario móvil hacia al acceso de los servicios.

Shadowing: Fenómeno que es provocado cuando un MS tiene su traslado entre obstáculos (por ejemplo: edificios) y se experimenta una reducción significativa en el nivel de la potencia recibida.

Streaming: Es una técnica de transferencia de datos mandados desde un servidor que le permite al usuario móvil de visualizar alguna aplicación multimedia sin recurrir a la espera de largos tiempos de descarga. Esto se refleja en el acceso inmediato de los paquetes de datos en el tiempo en los cuales estos hayan arribado al destino.

XML: Extensible Markup Language. Lenguaje que se encarga de clasificar un objeto de datos a una base de datos, asimismo permite la creación de aplicaciones de acuerdo a las necesidades del usuario.

Capítulo 5

AppleTalk: Protocolo operante en la Capa de Red propietario de Apple.

BREW: Binary Runtime for Environment Wireless. Ambiente destinado a la programación de aplicaciones destinadas a dar servicios de Tercera Generación residentes en el MS.

Call Flow: Diagrama en donde se muestran las distintas trayectorias que se siguen en una llamada (de voz o de datos) en un Sistema de Telefonía Celular Móvil.

Contensión: Técnica perteneciente a la Subcapa del OSI Layer 2 o Capa de Enlace en donde todos los dispositivos comparten un mismo medio de transmisión y solo pueden transmitir en éste siempre y cuando no haya nadie más transmitiendo información.

DHCP: Dynamic Host Configuration Protocol. Es un protocolo de comunicaciones que le permite a los administradores de la red de controlar a nivel central y automatizar la asignación de direcciones IP.

DNS: Domain Name System or Service. Servicio proporcionado por la Red IP en donde se realiza un mapeo de los nombres de los dominios a sus correspondientes direcciones IP.

IMSI: International Mobile Subscriber Identity. Es el número asignado al MS por el Proveedor de Servicios de Telefonía Móvil identificando al MS nacional e internacionalmente.

IPX: Internetwork Packet Exchange. Protocolo operante en la Capa de Red perteneciente a Novell y cuyo funcionamiento está orientado a no conexión.

ISO: International Organization for Standardization. Organismo internacional responsable de plantear un amplio rango de estándares, incluyendo a aquellas relacionadas con el flujo de la información en la red. Asimismo es responsable de la creación del Modelo de Referencia OSI.

OSI: Open System Interconnection. Programa de estandarización internacional desarrollado por ISO y CCITT encargado de desarrollar estándares para proveer la interoperabilidad de equipo de diferentes fabricantes.

Packet Zone: Es el área de "Cobertura" en la cual la RAN tiene la habilidad de conectar al MS hacia la misma sesión del PCF, mismo que ya se encuentra en Estado Dormant.

Referencias Bibliográficas

1. Miller E., Lee J., *CDMA Systems Engineering Handbook*, 1^a. Ed, EE.UU., Artech House Mobile Communications Library, 1998, p.1-21, 302-327, 340-388.
2. Ericsson Wireless Communications Inc, *CDMA2000 ECT-360 Student Guide*, Revision X2, 16 de junio del 2000.
3. Ericsson Wireless Communications Inc, *CDMA Systems TIA/EIA-95-A/B ECT-260 Student Guide*, Revision X4, 1 de noviembre de 1999.
4. Blume S., Collen Wade, *CDMA2000: An Effective Migration Investment (Operator Business Model)*, Ericsson.
5. Ericsson Wireless Communications Inc, *CDMA2000 Radio Access Network (RAN) Overview PI*, Rev. PA3, 5 de marzo del 2001.
6. Ericsson Wireless Communications Inc, *cdmaOne[®] to CDMA2000 1x Transition White Paper*, Rev. PA8, 12 de marzo del 2001.
7. Ericsson Wireless Communications Inc, *1xEV for CDMA2000 Radio Access Network White Paper*, Rev B, 28 de febrero del 2001.
8. Garg, V., *Wireless Network Evolution (2G to 3G)*, 1^a. Ed, EE.UU., Prentice Hall PTR, 2002., p. 3-18, 373-446, 617-658.
9. Sklar B., *Digital Communications (Fundamentals & Applications)*, 1^a. Ed, EE. UU., Prentice Hall PTR, 1988, p. 399-403.
10. Steel R., Hanzo L., *Mobile Radio Communications (Second and Third Generation Cellular and WATM Systems)*, 2^a. Ed, UK., John Wiley & Sons., p. 939-948 952-954 p.
11. Rhee M., *CDMA Cellular Mobile Communications & Network Security.*, 1^a. Ed, EE.UU., Prentice Hall PTR, 1998, p. 23-56.

Referencias Electrónicas

1. <http://www.cdg.org>
2. <http://www.3gpp.com>
3. <http://www.3gpp2.com>
4. <http://www.itu.int/home/imt.html>
5. <http://www.qualcomm.com/brew>
6. <http://www.qualcomm.com/cdma/1xEV>
7. <http://www.cdmaonline.com>
8. <http://www.3gamericas.org>
9. <http://www.siemens-mobile.com>
10. <http://www.radcom.com>
11. <http://www.ieee.org>
12. <http://www.iec.org>
13. <http://www.wsdmag.com>
14. <http://www.symena.com>