

18



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

CDMA2000 TECNOLOGÍA DE
COMUNICACIONES
INALÁMBRICAS CELULARES DE
TERCERA GENERACIÓN

T E S I S

Que para obtener el Título de
INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES

P r e s e n t a n :

JOSÉ MANUEL JUÁREZ JUÁREZ
SILVIA VERONICA TÉLLEZ ZAMORA

DIRECTOR DE TESIS: ING. JESÚS REYES GARCÍA

CIUDAD UNIVERSITARIA, MÉXICO D.F., JULIO DEL 2002.



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



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.

AGRADEZCO A:

Dios, por haberme regalado el Don de la vida, por haber estado conmigo en todo momento, por cuidar de cada integrante de mi familia, por haberme permitido descubrir lo bueno y lo malo de la vida, por haberme dado la oportunidad de cumplir con una de mis metas, pero más que nada, por haberme dado la dicha y el placer de nacer en esta hermosa familia.

A mi padres (Manuel y Sabina), gracias por darme la vida y todo su amor; gracias por cada una de las caricias y cuidados que me han dado; gracias por pedirle a Dios por mi; gracias por ser unos padres admirables y únicos, pues con su independiente forma de ser, de luchar y de sacrificarse me han dado la mejor herencia que los padres pueden dejar a un hijo, es decir, una religión, una educación, una carrera y la oportunidad de tener un diferente tipo de vida; gracias por todo su apoyo, por sus consejos y toda su paciencia, ya que estoy seguro que sin su presencia no hubiese podido llegar hasta aquí; pero principalmente, gracias por su ejemplo, ya que gracias a él me han enseñado a luchar con disciplina, esfuerzo y dedicación para poder salir adelante; por todo esto y mucho más "gracias papá y mamá", los quiero y admiro mucho, y les estaré siempre agradecido.

A mis hermanos (Roberto, Leticia, Guadalupe y Rodrigo), gracias por formar parte de mi vida; gracias por soportarme por tantos años y disculparme por las pequeñas diferencias que surgen entre hermanos; gracias por compartir aquellos buenos y malos momentos, créanme que sin ustedes nada hubiese sido igual, pues a pesar de tener personalidades diferentes nos une un lazo muy grande, la sangre, el cual nos mantendrá unidos por siempre, los quiero mucho.

A mis compadres (Roberto y Lilitiana), gracias por darme el honor de ser tío y padrino de su primera hija (Valeria), la cuál me ha dado la dicha y satisfacción de conocer el inicio de una nueva vida, gracias bebé.

A todos mis abuelos y tíos, gracias por darme la dicha de pertenecer a esa inmensa familia, créanme que de una u otra forma siempre han estado presentes. En forma especial, gracias abuelito Efrén, donde quiera que estés, por todo tu apoyo y consejos, créeme que nunca te olvidaré.

A mi compañera de tesis (Sylvia), gracias por darme la oportunidad de ser tu amigo y por aceptar el reto de realizar la tesis juntos; gracias por todo el empeño y dedicación que mostraste durante la misma, y por los buenos momentos compartidos; en forma especial, gracias por ser una excelente compañera y amiga, y por la paciencia que me tuviste.

A todos mis amigos (Victor "pequeño", Fausto "pato", Esteban "igor", Toño, Kevin, Erica,...), compañeros de carrera (Generación 96% de Telecomunicaciones) y compañeros de otras carreras, gracias por su apoyo y compañía durante todos estos años de escuela, ya que de una u otra manera siempre estuvieron presentes; en especial, gracias por todos aquellos buenos y malos momentos que pasamos juntos, créanme que nunca los olvidaré.

A mi director de tesis (Ing. Jesús Reyes García), por todo su apoyo y paciencia durante la realización de la presente, ya que sin su ayuda y asesoría hubiese sido muy difícil concluir dicha investigación. Gracias por todo.

A mis profesores, por todas sus enseñanzas, asesorías, experiencias y consejos, las cuales hicieron posible adquirir los conocimientos necesarios para mi formación profesional.

A la Facultad de Ingeniería y Universidad Nacional Autónoma de México, por haberme brindado la oportunidad de formarme profesionalmente en sus aulas y por ser mi segunda casa, siempre les estaré agradecido.

Ing. José Manuel Juárez Juárez, julio 2002.

NECESITO AGRACEDER.....

A Dios por estar siempre a mi lado, y hacerme sentir su amor día con día.

A mi papá por quererme desde que nací y luchar todos los días para hacer de mí una persona de bien, por luchar por mantener a nuestra familia siempre unida, y hacer de nuestra casa un verdadero "hogar". Gracias por estar con nosotras siempre y dar lo mejor de ti cada día, por creer en mí, por los momentos de preocupación, los desvelos, y la lucha constante. ¡Este logro también es tuyo papi, Te Quiero Mucho!

A mi mami, por ser mi ángel de la guarda, por ser lo más puro y lindo en mi vida, por el cariño de todos los días, los desvelos, los momentos de preocupación, las alegrías compartidas, por ser mi amiga de todo momento, por ser mi motor en los días difíciles, por trabajar por tu familia, por hacer tu mejor esfuerzo día con día, y porque siempre has estado conmigo..GRACIAS, ¡Este logro también es tuyo mami, Te Quiero Mucho!!

A Machie, gracias hermana por creer siempre en mí, por tu apoyo emocional y económico que siempre me han ayudado y hecho el camino más fácil. Por tu cariño, comprensión y consejo, por estar al tanto de mí siempre...gracias por estar siempre dispuesta a apoyarme. ¡Este logro también te lo dedico con mucho cariño, Te Quiero Mucho!

A Tokoy's, gracias por ser la amiga que siempre está ahí, por ese mundo compartido. por escuchar, por consolar, por tender la mano. La vida ha sido más fácil porque la he aprendido con tu consejo, gracias por echarme porras siempre y creer en mí. ¡Nunca olvidés que te quiero mucho y que el lazo que nos une durará por siempre!

A Sary por ser siempre cariñosa y alegre, por creer en mí y ser mi amiga, por ser la chispa de la familia, por ser y el futuro de ella. ¡Cuenta conmigo siempre....Te Quiero Mucho!

A mi Israel, gracias por aparecer mágicamente en mi vida y llenarla de alegría desde ese momento, gracias por caminar conmigo lado a lado y darme ánimo cuando sentía que no podía más, por compartir las preocupaciones de los proyectos, los exámenes, los finales, la tesis, porque nadie mejor que tú sabe lo difícil que es y siempre me has hecho sentir una triunfadora, por creer en lo que hago día con día. Por ser mi mejor equipo, por motivarme a ser una gran ingeniera. Por ser el motor de mis proyectos y sueños. Por ser la chispa y el color de todos los días...gracias. ¡Te Amo Mucho!

A Aza por ser la amiga incondicional, la amiga de todos los días, por preocuparte siempre por mí, y estar al tanto de todo lo que pase. Gracias por confiar, por reír, por llorar, por escucharme y por tus consejos, por estar cuando otros se han ido, por disfrutar este logro conmigo. Gracias por creer siempre en mí. No lo olvides....¡Siempre amigas!

A Luchy por los detalles especiales, por tu cariño de siempre, por luchar, por compartir lo bueno, lo difícil, los sueños.....gracias por ser mi amiga de toda la vida, por crecer a lado de mí, por jugar en la niñez, por la adolescencia compartida, por madurar juntas, gracias por todos los minutos de compañía...Te Quiero Mucho!

A Jose Manuel por trabajar juntos en esta tesis y esforzarte mucho, por la tolerancia y paciencia. ¡Por fin lo logramos!, ¡Muchas Felicidades Ingeniero!. Gracias por el apoyo y amistad de Liz, Gustavo y Ana y a los cuates de la escuela

Y especialmente a la Universidad Nacional Autónoma de México, a la Facultad de Ingeniería, por darme un lugar, por darme la oportunidad, por sus aulas, sus profesores, por abrir mi mente y mi corazón....gracias UNAM!

¡GOYA, GOYA, CACHÚN, CACHÚN RRÁ RRÁ, CACHÚN, CACHÚN RRÁ RRÁ, GOYA...UNIVERSIDAD!

Ing. Silvia V. Téllez Zamora

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO 1	
“SISTEMA INALÁMBRICO DE 2DA GENERACIÓN”.....	3
1.1 BREVE HISTORIA DE LA TELEFONÍA CELULAR.....	3
1.2 GENERACIONES DE LA TELEFONÍA INALÁMBRICA.....	5
1.2.1 Primera Generación.....	5
1.2.2 Segunda Generación.....	7
1.2.2.1 Beneficios de la telefonía celular digital.....	8
1.2.2.2 GSM.....	9
1.2.2.3 IS-136 TDMA.....	12
1.2.2.4 IS-95 CDMA.....	13
1.2.2.5 PDC.....	13
CAPÍTULO 2	
“FUNDAMENTOS DE CDMA”.....	16
2.1 PRESENTE, PASADO Y FUTURO DE CDMA.....	16
2.2 CONCEPTOS DE CDMA.....	16
2.2.1 Capacidad de Acceso Múltiple.....	18
2.2.2 Protección Contra Interferencia de Multitrayectoria.....	18
2.2.3 Privacidad.....	18
2.2.4 Rechazo a la Interferencia.....	18
2.2.5 Capacidad de Antibloqueo, especialmente de Banda Angosta.....	19
2.2.6 Baja Probabilidad de Interferencia (LPI).....	19
2.3 CLASIFICACIÓN DE TIPOS DE CDMA.....	19
2.4 ACCESO MÚLTIPLE DE ESPECTRO ESPARCIDO.....	19
2.4.1 ¿Qué es el Espectro Esparcido?.....	19
2.5 ELEMENTOS BÁSICOS DE CDMA.....	29
2.5.1 Receptor RAKE.....	29
2.5.2 Control de Potencia.....	30
2.5.3 Transferencia de llamada suave.....	31
2.5.4 Detección Multiusuario.....	32
2.6 VENTAJAS DE CDMA.....	32
2.6.1 Beneficios a los usuarios.....	32
2.6.2 Beneficios a los proveedores de servicio.....	33

CAPÍTULO 3	
“EL SISTEMA TIA IS-95 o CDMAOne”	35
3.1 INTRODUCCIÓN.....	35
3.2 ARQUITECTURA DEL MODELO DE REFERENCIA TR-46.....	36
3.2.1 Estación Personal (PS).....	36
3.2.2 Sistema de Radio (RS).....	36
3.2.3 PCSC.....	36
3.2.4 HLR.....	36
3.2.5 Negociador de Mensajes de Datos (DMA).....	36
3.2.6 VLR.....	37
3.2.7 Centro de Autenticación (CA).....	37
3.2.8 Registro de Identidad de Equipo (EIR).....	37
3.2.9 Sistema de Operaciones (OS).....	37
3.2.10 Función de trabajo interno (interworking).....	37
3.3 INTERFAZ DE AIRE IS-95.....	39
3.3.1 Estructura del Enlace.....	39
3.4 CONTROL DE POTENCIA.....	45
3.4.1 ¿Porqué el Control de Potencia?.....	45
3.4.2 Enlace de Subida.....	46
3.4.3 Enlace de Bajada.....	49
3.5 PROCEDIMIENTOS DE LA LLAMADA.....	49
3.5.1 Estados de Procedimiento de la Llamada.....	49
3.5.2 Estado de Inicialización.....	51
3.5.3 Estado Inactivo.....	51
3.5.4 Estado de Acceso.....	52
3.5.5 Estado de Canal de Tráfico.....	54
3.6 TRANSFERENCIA DE LLAMADA.....	55
3.6.1 Handoff en el Móvil.....	56
3.6.2 Proceso de Transferencia de Llamada.....	57
3.7 REVISIÓN DE IS-95.....	58
3.8 DISTRIBUCIÓN DE CDMAOne EN EL MUNDO.....	59
CAPÍTULO 4	
“IMT-2000”	61
4.1 INTRODUCCIÓN.....	61
4.2 IMT-2000.....	61
4.2.1 Concepto de IMT-2000.....	61
4.2.2 Estandarización.....	63
4.2.3 Presentación de IMT-2000.....	64
4.3 ESPECIFICACIONES PARA SISTEMAS DE 3G.....	65
4.3.1 Aplicaciones y Servicios de 3G.....	65
4.3.2 Nuevas Terminales de 3G.....	66
4.4 REDES DE 3G.....	66
4.4.1 Estructura de la Redes de 3G.....	67
4.4.2 Conexión de Multimedia Móvil en la Red.....	68
4.5 ESPECTRO RADIOELÉCTRICO PARA 3G.....	68
4.5.1 Bandas de Frecuencia para los Sistema IMT-2000.....	69
4.5.2 Características de la Propuesta del Plan de Transición.....	69

4.5.3 Recomendaciones Respecto al Plan de Transición de Frecuencias para 3G.....	70
4.6 PROPUESTAS PARA IMT-2000.....	70
4.6.1 Propuesta Europea.....	74
4.6.2 Propuesta Norteamericana.....	74
4.6.3 Propuesta Japonesa.....	76
4.6.4 Propuesta Coreana.....	76
4.6.5 Propuesta China.....	76
4.7 EVOLUCIÓN A CAPACIDADES DE 3G.....	76
4.7.1 Evolución IS-95.....	77
4.7.2 Evolución de GSM.....	77
4.7.3 Evolución de IS-136.....	78
4.7.4 Evolución desde 1G hasta 3G.....	78

CAPÍTULO 5

“AMBIENTE DE RADIO PROPAGACIÓN”.....80

5.1 INTRODUCCIÓN.....	80
5.2 PROPAGACIÓN DE RADIO MÓVIL.....	80
5.3 MODELOS DE PROPAGACIÓN.....	81
5.4 DESVANECIMIENTOS Y CANAL DE MULTITRAYECTORIA.....	82
5.5 AMBIENTES DE RADIO PROPAGACIÓN.....	84
5.5.1 Ambiente Vehicular.....	85
5.5.2 Ambientes de Exteriores a Interiores y Peatonal.....	85
5.5.3 Ambiente de Interior de Oficina.....	86
5.6 FUNCIONES DE DISTRIBUCIÓN.....	86
5.6.1 Distribución Log-normal.....	86
5.6.2 Distribución Rician.....	87
5.6.3 Distribución Rayleigh.....	87
5.7 MODELOS DE DESPLIEGUE Y DE PÉRDIDAS DE TRAYECTORIA.....	88
5.7.1 Ambiente Vehicular.....	88
5.7.2 Ambientes de Exteriores a Interiores y Peatonal.....	88
5.7.3 Ambiente de Interior de Oficina.....	89
5.8 MODELOS DE PEQUEÑA ESCALA.....	90
5.8.1 Ambiente Vehicular.....	90
5.8.2 Ambientes de Exteriores a Interiores y Peatona.....	92
5.8.3 Ambiente de Interior de Oficina.....	92
5.8.4 Modelos de Canal Espacial.....	93
5.9 MODELOS DE MOVILIDAD.....	94
5.9.1 Ambiente Vehicular.....	94
5.9.2 Ambientes de Exteriores a Interiores y Peatonal.....	94
5.9.3 Ambiente de Interior de Oficina.....	96

CAPÍTULO 6

“CONSIDERACIONES PARA EL DISEÑO DE LA INTERFAZ DE AIRE CDMA”.....98

6.1 INTRODUCCIÓN.....	98
6.2 DEFINICIÓN DE REQUERIMIENTOS Y PROCESO GENERAL DE DISEÑO.....	98
6.3 ESTRUCTURA POR CAPAS DE LA INTERFAZ DE AIRE.....	98
6.4 CANALES LÓGICOS.....	99

6.5	CANALES FÍSICOS.....	100
6.5.1	Diseño de la Longitud de Trama.....	100
6.5.2	Medición de Señalización.....	101
6.5.3	Señales Piloto.....	101
6.6	CÓDIGOS DE ESPARCIMIENTO.....	101
6.6.1	Propiedades Básicas de los Códigos de Esparcimiento.....	101
6.6.2	Códigos de Ruido Seudo Aleatorio (PN).....	103
6.6.3	Códigos ortogonales.....	104
6.6.4	Criterios de Selección.....	106
6.7	MODULACIÓN.....	107
6.7.1	Modulación de Datos.....	108
6.7.2	Circuitos de Esparcimiento.....	109
6.7.3	Modulación de Esparcimiento.....	109
6.8	ESQUEMAS DE CONTROL DE ERRORES.....	110
6.8.1	Selección del Esquema de Control de Errores.....	111
6.8.2	Códigos de Bloque y Convolutivos.....	112
6.8.3	Turbo Códigos.....	112
6.8.4	Esquemas Híbridos ARQ.....	112
6.8.5	Esquemas de Entrelazado.....	112
6.9	ESQUEMA DE MULTITASAS.....	112
6.9.1	Adaptación a Mayores Tasas de Datos.....	113
6.9.2	Transmisión de Información de Control.....	113
6.10	PAQUETES DE DATOS.....	114
6.10.1	Procedimiento de Acceso por Paquetes.....	114
6.10.2	Protocolo MAC.....	115
6.10.3	Handover de Paquetes de Datos.....	115
6.11	TRANSCÉPTOR.....	115
6.11.1	Receptor.....	115
6.11.2	Transmisor.....	117
6.12	DETECCIÓN MULTIUSUARIO.....	118
6.12.1	Mejoría de la Capacidad y Cobertura.....	119
6.12.2	Algoritmos de Detección Multiusuario.....	119
6.12.3	Modelado de Sistema y Formulación del Algoritmo de MUD.....	121
6.12.4	Aspectos de Diseño para la Detección Multiusuario.....	123
6.12.5	Elección del Algoritmo de Detección Multiusuario.....	123
6.13	PROCEDIMIENTOS DE ACCESO ALEATORIO.....	125
6.14	HANDOVER.....	126
6.14.1	Definiciones.....	126
6.14.2	Procedimientos de Handover.....	126
6.14.3	Handover Suave.....	127
6.14.4	Handover Más Suave.....	130
6.14.5	Handover de Interfrecuencia.....	130
6.15	CONTROL DE POTENCIA.....	131
6.15.1	Criterio de Control de Potencia.....	131
6.15.2	Tamaño del Paso de Control de Potencia.....	131
6.15.3	Requerimientos del Rango Dinámico.....	131
6.15.4	Tasa de Comandos del Control de Potencia.....	132
6.16	CONTROL DE ADMISIÓN Y DE CARGA.....	132
6.16.1	Factor de Carga.....	133
6.16.2	Principios de Control de Admisión.....	133
6.16.3	Principios de Control de Carga.....	133

CAPÍTULO 7

“DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA CDMA2000”	134
7.1 INTRODUCCIÓN.....	134
7.1.1 Tecnología de Radiotransmisión Cdma2000.....	135
7.1.2 Características Importantes de Diseño.....	135
7.2 CARACTERÍSTICAS DE LA RTT CDMA2000.....	137
7.2.1 Flexibilidad y Escalabilidad.....	137
7.2.2 Evolución.....	138
7.2.3 Requerimientos de Funcionalidad.....	139
7.3 CARACTERÍSTICAS GENERALES DE CDMA2000.....	147
7.4 ESTRUCTURA ESTRATIFICADA DE CDMA2000.....	148
7.4.1 Capas Superiores.....	149
7.4.2 Capa de Enlace.....	150
7.4.3 Capa Física.....	152
7.5 CANALES FÍSICOS DE CDMA2000.....	152
7.6 PROCESOS CDMA2000.....	154
7.6.1 Multiplexaje y Codificación de Canal.....	154
7.6.2 Modulación y Esparcimiento.....	156
7.7 PROCESO DE ACCESO ALEATORIO EN CDMA2000.....	158
7.8 HANDOVER CDMA2000.....	160
7.9 SERVICIOS DE DATOS CDMA2000.....	161
7.9.1 Servicios de Datos de Alta Velocidad IS-95B.....	161
7.9.2 Tasas de Datos que Ofrece IS-95B.....	161
7.9.3 Mejorías de la Capa Física Cdma2000.....	161
7.9.4 Tasas de Datos que Soporta Cdma2000.....	163
7.9.5 Tasas de Datos Dinámicas Cdma2000 (ráfaga de datos).....	163
7.9.6 Servicios de Paquetes de Datos en la Capa MAC IS-95B.....	164
7.9.7 Servicio de Paquetes de Datos en la Capa MAC Cdma2000.....	164

CAPÍTULO 8

“ESTADO DE LA IMPLEMENTACIÓN DE CDMA2000 ALREDEDOR DEL MUNDO Y EN MÉXICO”	166
8.1 IMPLEMENTACIÓN EN EL MUNDO.....	166
8.1.1 Posible Mercado Mundial de Cdma2000.....	166
8.1.2 Migración de diversas tecnologías hacia cdma2000.....	167
8.1.2.1 De cdmaOne hacia CDMA2000.....	168
8.1.2.2 De AMPS hacia CDMA2000.....	169
8.1.2.3 De TDMA hacia CDMA2000.....	170
8.1.2.4 De GSM a CDMA2000.....	171
8.1.3 Despliegues IMT-2000 Basados en Cdma2000.....	171
8.1.3.1 Despliegues recientes de sistemas IMT-2000 CDMA2000 1X en las Américas.....	172
8.1.3.2 Despliegues recientes de sistemas IMT-2000 CDMA2000 1X en otros lugares.....	173
8.1.4 Grupos de trabajo para la implementación mundial 3G.....	175
8.1.4.1 Arreglos de frecuencias para sistemas IMT-2000 mundialmente.....	176
8.1.4.2 La Comisión Interamericana de Telecomunicaciones.....	177
8.2 IMPLEMENTACIÓN EN MÉXICO.....	180
8.2.1 Antecedentes de la telefonía celular en México.....	180

8.2.1.1 PCS en México.....	181
8.2.1.2 Crecimiento de la telefonía celular en México.....	181
8.2.1.3 Operadores de Telefonía Celular en México.....	183
8.2.2 Posible mercado para cdma2000 en México.....	185
8.2.3 Selección de Tecnologías en México hacia 3G.....	186
8.2.4 México hacia 3G.....	188
8.2.4.1 Consideraciones de México para los posibles arreglos de frecuencias.....	188
8.2.4.2 La posición de México ante IMT-2000.....	189
8.2.4.3 Bandas identificadas como factibles por México para los sistemas móviles hacia 3G.....	189
8.2.5 Grupos de Trabajo hacia 3G (Cdma2000) en México.....	193
CONCLUSIONES.....	195
APÉNDICE.....	199
BIBLIOGRAFÍA.....	219

INTRODUCCIÓN

Si hace escasamente quince años hubiéramos preguntado a un experto en telecomunicaciones, cuál sería el futuro de la telefonía móvil, seguramente nos hubiera contestado que iba a ser una aplicación minoritaria y muy particular. Sin embargo, hoy existen en el mundo millones de abonados móviles celulares. Este servicio ha tenido una gran aceptación en el mercado ya que además de ser una herramienta de trabajo se ha convertido en un bien de consumo familiar. Como consecuencia, las terminales son cada vez más pequeñas, más baratas y con más autonomía. Sin embargo, aunque los sistemas ofrecen cada días más servicios, éstos empiezan a ser insuficientes.

La globalización, la mayor movilidad de la mano de obra y los cambios en los hábitos laborales y de ocio están exigiendo el arribo a una nueva generación de sistemas y redes en las comunicaciones móviles conocida como 3G o IMT-2000, lo que implica la elaboración de una única norma mundial para las comunicaciones móviles.

La llamada Tercera Generación (3G) se espera que cumpla el sueño de la telefonía celular global, se espera que la telefonía del mañana sea el producto de la convergencia de las industrias de las telecomunicaciones y la computación, un híbrido de computadora portátil y teléfono móvil con más funcionalidades incluso de las que pueden ofrecer hay cada uno de estos elementos por separado. Este dispositivo híbrido combinará una amplia gama de funciones diferentes en un solo aparato de bolsillo, que podremos llevar a cualquier parte del mundo estando siempre conectados. Posiblemente las terminales se activarán con la voz, lo cual eliminará la necesidad de los teclados y estarán provistos de una pantalla flexible y extraíble para videotelefonía, servirán como ordenador portátil que podrán conectarse rápida e ininterrumpidamente a la red distante de la empresa, será un dispositivo de comunicaciones capaz de enviar y recibir datos, voz, sonido e imágenes y una secretaria electrónica que nos recuerde nuestro programa diario, nos prepare las citas, nos haga las llamadas de rutina y nos conecta automáticamente a reuniones virtuales por medio de sus funciones de audio y videoconferencia.

Según la Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU), la telefonía de la Tercera Generación permitirá a los usuarios comunicarse en cualquier parte del mundo de manera integral. Además, la transmisión a altas velocidades facilitará una amplia variedad de aplicaciones. En resumen podemos decir que el verdadero potencial de 3G ha sido motivo de múltiples especulaciones, pues los usos que se le atribuyen van desde los más sencillos –como radiolocalización e identificación de llamadas- hasta otros más complejos- como acceso móvil a Internet, transferencia de archivos y videoconferencias en un equipo móvil de bolsillo. Resulta importante considerar que para que los usuarios utilicen los servicios 3G hará falta lo siguiente: la existencia de una frecuencia universal y de tecnologías convergentes y compatibles entre sí, así como la creación y diseño de nuevos teléfonos y otros dispositivos capaces de proporcionar los servicios que se ofrecen. Mientras que en las redes móviles es necesario introducir nuevos sistemas de transmisión por radio, cambiar parte de las plataformas de conmutación y de transmisión, así como incorporar los nodos de servicios que hagan posibles los servicios 3G.

Para llegar a la 3G, las empresas junto con los organismos de normalización han planteado e impulsado diversos caminos para realizar esta emigración de acuerdo al sistema o red digital de 2da Generación que se

esté empleando, la decisión del camino a seguir será de gran importancia para los operadores, pues de ella dependerá su futuro. El análisis de estos diversos caminos que se pueden tomar hacia la 3G es un tema demasiado amplio, y que en la práctica es realizada por diferentes grupos.

La presente tesis está orientada simplemente a analizar uno de los más probables caminos que podrían seguir los operadores en nuestro país y que utilizan la tecnología CDMA bajo la norma IS-95 o cdmaOne, el cual se denomina CDMA2000. En otras palabras, en el presente trabajo se darán los antecedentes para comprender el sistema CDMA2000, así como una presentación del sistema como tecnología de Comunicaciones Inalámbricas Celulares para la 3era Generación, analizando la posible implementación de este sistema en nuestro país.

Cabe mencionar que en el área central del país, 3 de los 4 operadores de sistemas celulares y de comunicaciones personales emplean la tecnología CDMA. También CDMA2000 es la principal tecnología propuesta en EE.UU. para la 3era Generación, lo cual representa una influencia importante en la elección de tecnología que hará nuestro país para emigrar hacia 3G, debido a la gran frontera compartida con el país y el mercado compartido con este.

El contenido de este trabajo de tesis se estructura en ocho capítulos: el primero es de carácter introductorio ya que recoge los antecedentes de la telefonía actual y, posteriormente, hace hincapié en los sistemas de 2da Generación digitales más comunes. El capítulo dos hace una descripción detallada de los fundamentos de CDMA, resaltando los elementos básicos del sistema, y el método de espectro expandido, así como las ventajas del mismo. El capítulo tres se enfoca al estándar IS-95 basado en CDMA o también conocido comercialmente como cdmaOne, el cual es el precursor más viable para CDMA2000. En esta parte describimos la arquitectura de modelo de referencia TR-46 el cual es el modelo de red compatible para cdmaOne, así como la interfaz de aire, la estructura del enlace, el control de potencia, el proceso de llamada y la transferencia de llamada entre los conceptos más importantes para éste estándar. El capítulo cuatro tiene como objetivo presentar una visión general de IMT-2000 y 3G por medio de una descripción de las especificaciones necesarias de red y espectro para sistemas 3G, así como las propuestas de evolución de los diferentes operadores y organismos de estandarización alrededor del mundo. El capítulo cinco tiene como objetivo presentar los principales conceptos del ambiente de operación de radiofrecuencia, donde se hace mención de los diferentes ambientes de operación de radio frecuencia más comunes y los modelos de propagación más utilizados. En el capítulo seis se describen las consideraciones para el diseño de la Interfaz de Aire CDMA, haciendo mención de los códigos de espaciamiento utilizados en CDMA, así como el proceso de modulación, control de errores, control potencia y handover, entre otros conceptos importantes. Una vez que tenemos todas las bases necesarias de la tecnología CDMA, estaremos listos para abordar el sistema de tercera generación CDMA2000, por esto en el capítulo seis se hace una descripción detallada del sistema CDMA2000, desde las etapas de evolución dentro del sistema, conceptos básicos del sistema CDMA2000, características de diseño, requerimientos de funcionalidad, servicios, la estructura estratificada de la red, un análisis de los canales, de los procesos más importantes de CDMA2000, en resumen, en este capítulo se busca dar un análisis detallado del sistema. Finalmente, en el capítulo ocho analizaremos el mercado mundial para CDMA2000. Los países donde se planea la implementación del sistema y el análisis de las bandas propuestas mundialmente, comentaremos el caso particular de Corea, que ha sido el primer país en implementar comercialmente el sistema CDMA200 con éxito en el mercado. Particularmente, analizaremos la factibilidad de la implantación del sistema CDMA2000 en nuestro país, a través del análisis del mercado actual y haremos hincapié en el estudio de las bandas propuestas para 3G y la compatibilidad con nuestro espectro actual.

CAPÍTULO 1

Sistemas Inalámbricos de 2da Generación

1.1 BREVE HISTORIA DE LA TELEFONIA CELULAR

Durante los 50's del siglo pasado gran parte de los desarrollos en la telefonía móvil en los EE.UU. las realizan empresas de radiotelefonía móvil independientes, las cuales llegan a agrupar la mayoría de los usuarios de este servicio. La Bell System no llega a realizar investigaciones de alto nivel para mejorar la radiotelefonía móvil y aumentar su capacidad, esto se debió en gran parte a que en la FCC no había la disposición de conceder más frecuencias para este servicio. En 1960 en la revista IRE Transactions on Vehicle Communications (actualmente IEEE Transactions on Vehicular Technology) se publican los trabajos de W.D. Lewis y de W. A. Cornell y H. J. Schitte los cuales son una reimpresión de los comunicados técnicos internos de los Laboratorios Bell mencionados en los años 1958 y 1959. Esto marca la primera vez que se da a conocer en detalle a todo el mundo el concepto de un sistema de radiotelefonía móvil celular. Era evidente que a mediados de los 1960's todas las grandes empresas de servicios de telecomunicaciones y los fabricantes de equipo de telecomunicaciones conocían el concepto de un sistema de radiotelefonía celular, la cuestión era que empresa podría hacer funcionar el concepto técnico y económicamente, y quién podría patentar primero el sistema. A continuación, en la tabla 1.1 se presenta la cronología básica del surgimiento de la radiotelefonía celular.

Tabla 1.1: Cronología del surgimiento de la radiotelefonía celular.

SURGE EL CONCEPTO DE RADIOTELEFONIA CELULAR	
1930's	<ul style="list-style-type: none"> • Antes de la Segunda Guerra Mundial en diferentes países del mundo se empieza a experimentar para ofrecer un servicio de telefonía móvil desde automóviles. Esta experimentación orientada al aspecto comercial cesa al iniciar la guerra.
1940-1945	<ul style="list-style-type: none"> • Estudios durante la Segunda Guerra Mundial para proporcionar mejores comunicaciones en el campo de la batalla. Uso de FM en la banda VHF. Uso de equipo portátil de comunicación bidireccional en FM.
1946	<ul style="list-style-type: none"> • En la ciudad de San Luis Missouri EE.UU., la AT&T y la Southwestern Bell instalan el primer servicio de telefonía móvil comercial, conocido como MTS (Mobile Telephone Service) de operación manual (6 canales de 60 MHz en la banda 150 MHz), simplex a dos frecuencias.
1947	<ul style="list-style-type: none"> • Se describe por primera vez el concepto celular en un comunicado técnico de los Laboratorios Bell realizado por D. H. Ring y W.R. Young. • AT&T establece un servicio de telefonía móvil para carretera entre las ciudades de Boston y Nueva York. Operaba en la banda de 35 a 44 MHz.

Tabla 1.1: Cronología del surgimiento de la radiotelefonía celular. (continuación)

SURGE EL CONCEPTO DE RADIOTELEFONIA CELULAR	
1948	<ul style="list-style-type: none"> Primer servicio de telefonía móvil con marcación directa automática aparece en Richmond Indiana EE.UU.
1950's	<ul style="list-style-type: none"> En Alemania inicia operación la RED-A o A. Netz. Tiene características similares al sistema MTS en EE.UU. La Bell System introduce modificaciones en el sistema MTS, reduce ancho de banda en los canales de radio a 30 kHz y amplía su número de 6 a 11 canales. La Bell System proporciona servicios en la banda 450 MHz con 12 canales de 30 kHz cada uno. El departamento de Justicia de EE.UU. acuerda con la Bell System y su subsidiaria Western Electric Co a no producir radioteléfonos, dejando a empresas externas el diseño y fabricación de los radioteléfonos. Primera comunicación de móvil a móvil por la empresa independiente Richmond Radiotelephone. Descripción a detalle de las características de un sistema de radiotelefonía celular en un comunicado técnico interno de los Labs. Bell, High Capacity Mobile Telephone System de W. D. Lewis.
1964	<ul style="list-style-type: none"> La Bell System introduce su servicio IMTS (Improved Mobile Telephone Service) reemplazando al viejo sistema MTS. Este operaba en modo dúplex, había marcación directa y selección automática de canales. Su banda de operación fue la misma del MTS, 150 MHz.
1967	<ul style="list-style-type: none"> La NNT en Japón inicia estudios para implantar un sistema celular. Se inician pruebas de radio propagación en diversas áreas urbanas de Japón en las frecuencias de 400, 800, y 900 MHz.
1968	<ul style="list-style-type: none"> En Alemania se introduce la Red B o B-Netz, con características similares al sistema IMTS de la Bell System de EE.UU.
1969	<ul style="list-style-type: none"> La Bell system prueba el primer sistema de radiotelefonía celular haciendo uso del concepto de reuso de frecuencias. Las pruebas se llevan a cabo en el ferrocarril que une las ciudades de Nueva York y Washington DC mediante teléfonos públicos colocados en los carros de los trenes.
1971	<ul style="list-style-type: none"> La Bell System y la AT&T solicitan a la FCC frecuencias para implantar un sistema de radiotelefonía celular basada en el reuso de frecuencias.
1973	<ul style="list-style-type: none"> El Dr. Martin Cooper de la empresa MOTOROLA diseña el primer teléfono portátil de mano para un sistema de radiotelefonía celular. También la empresa Motorola realiza pruebas en la Ciudad de Nueva York y patenta su versión de un sistema de radiotelefonía celular.
1975	<ul style="list-style-type: none"> En Tokio Japón se llevan a cabo pruebas de campo de un sistema celular, los resultados son satisfactorios.

Tabla 1.1: Cronología del surgimiento de la radiotelefonía celular. (continuación)

SURGE EL CONCEPTO DE RADIOTELEFONIA CELULAR	
1977-1978	<ul style="list-style-type: none"> • La FCC de EE.UU. autoriza la solicitud de la Bell System y AT&T para implementar un sistema de radiotelefonía celular. • La Bell System y AT&T inician pruebas de su sistema de radiotelefonía celular en 1978 en la ciudad de Chicago. Al sistema se le denomina AMPS (Advanced Mobile Phone Service)
1979	<ul style="list-style-type: none"> • En la ciudad de Tokio la NTT inicia operación del primer sistema de radiotelefonía celular comercial. Se emplea equipo totalmente japonés.

La tecnología inalámbrica tuvo gran aceptación, por lo que a los pocos años de implantarse se empezó a saturar el servicio, por lo que hubo la imperiosa necesidad de desarrollar e implementar otras formas de acceso múltiple al canal y transformar los sistemas analógicos a digitales para darle cabida a más usuarios. Para separar una etapa de la otra, a la telefonía celular se ha catalogado por generaciones. A continuación se describen cada una de ellas.

1.2 GENERACIONES DE LA TELEFONÍA INALÁMBRICA

1.2.1 Primera Generación (1G)

Esta primera generación de telefonía móvil hizo su aparición en 1979, y se caracterizó por ser analógica y estrictamente para voz. La calidad de los enlaces de voz era muy baja, baja velocidad [2400 bauds], la transferencia entre celdas era muy imprecisa, tenían baja capacidad (basadas en FDMA) y la seguridad no existía.

Los primeros sistemas de primera generación que alcanzan un desarrollo comercial significativo aparecen en los años ochentas: en Europa los sistemas NMT-450 y en EE.UU., el sistema AMPS- "Advanced Mobile Phone System" adaptado en Europa como TACS "Total Access Communication System" empiezan ofreciendo un servicio que tiene, desde el punto de vista de usuario, las características del servicio actual:

1. Posibilidad de realizar y recibir llamadas en cualquier punto del área de cobertura del sistema.
2. Continuidad de la comunicación al pasar del radio de acción de una estación de base al de la estación contigua.

Sin embargo, estos sistemas solo alcanzaron una penetración limitada debido a los elevados costos que implican. Las razones de que los costos fueran tan elevados se pueden englobar en falta de competencia entre los operadores y suministradores de equipos que obligaran a bajar los precios. Cuando en Gran Bretaña se implanto el segundo operador, incluso el crecimiento del sistema TACS (analógico), se aceleró considerablemente. Por otro lado, algunas dificultades destacables del orden técnico entre estas tecnologías son las siguientes:

- La existencia de varios estándares y, por tanto, series de fabricación limitadas.
- Sistemas de baja capacidad o eficiencia radioeléctrica que implica un gran consumo de frecuencias o bien instalaciones caras.
- Sistemas analógicos que implican una tecnología voluminosa y de difícil mantenimiento.
- Sistemas propietarios, es decir, dependencia de un único fabricante.

A continuación, en la tabla 1.2 muestran algunos sistemas de telefonía celular empleados durante la primera generación. Posteriormente, en la tabla 1.3 se ilustra la cronología de los sistema de 1G. Para finalizar, se hace una descripción de cada uno de estos sistemas.

Tabla 1.2: Sistemas de telefonía celular de primera generación.

Sistema	País	No. de Canales	Espaciado (kHz)
AMPS	EE.UU.	832	30
C-450	Alemania	573	10
ETACS	Reino Unido	1240	25
JTACS	Japón	800	12.5
NMT-900	Escandinavia	1999	12.5
NMT-450	Escandinavia	180	25
NTT	Japón	2400	6.25
Radiocom-2000	Francia	560	12.5
RTMS	Italia	200	25
TACS	Reino Unido	1000	125

Tabla 1.3: Cronología de los sistema de primera generación.

1979	1981-82	1983	1985	1986	1987	1988	1991
NTT-450 Japón	NMT-450 Suecia Finlandia Noruega Dinamarca	AMPS EE.UU. AURORA- 400 Canadá	TACS-900 Reino Unido Radiocomm 2000 Francia	C-450/C-Netz Alemania RTMS Italia NMT-900 Suecia Finlandia Noruega Dinamarca	ETACS Reino Unido	NTT Hi-Cap Japón	JTACS/NTACS Japón

- ✓ **AMPS.** "Advanced Mobile Phone System" (Sistema de Telefonía Móvil Avanzada). Desarrollado por Bell Labs en los años 70's, y usado en un primer momento comercialmente en los EE.UU., en 1983. Opera en la banda de 800 MHz y, en la actualidad, es el estándar celular más extendido en el mundo.
- ✓ **EAMPS.** "Extended AMPS" (AMPS extendido). Aumenta la capacidad del AMPS y, aún hoy en día, continúa siendo el sistema más extendido en EE.UU., y en su entorno de influencia.
- ✓ **NAMPS.** "Narrowband AMPS" (AMPS de banda estrecha). Desarrollado por Motorola a partir del EAMPS, siendo un sistema a medio camino entre el analógico y el digital.
- ✓ **C-450.** Sistema sudafricano, ahora conocido por "Motorphone System 512". Aún sigue en funcionamiento, solo en Sudáfrica.
- ✓ **C-Netz.** Antiguo sistema que funcionaba en la banda de 450 MHz usado en Alemania y Austria. Comvik otra víctima de la estandarización con la llegada del GSM, nació en Suecia en 1981, terminó de dar servicio en 1996.

- ✓ **NMT 450.** “Nordic Mobile Telephony” (Sistema Nórdico de Telefonía Móvil). Desarrollado por Nokia y Ericsson para entornos nórdicos, funcionaba a 450 MHz. También se implantó en España, durante los 1980’s, por la operadora MovilLine.
- ✓ **NMT 900.** El sistema NMT surgió en los países escandinavos en 1981, es ideal para cubrir la mayor extensión de terreno con la menor inversión. Esta versión NMT 900 permite un mayor número de canales. Heredero del anterior, empleaba la banda de 900 MHz, para permitir mayor capacidad y terminales más pequeñas.
- ✓ **NMT-F.** Versión francesa del anterior.
- ✓ **NTT.** “Nippon Telegraph & Telephone”. Desarrollado por la empresa telefónica japonesa, ha sido el estándar analógico en esta zona. Apareció una versión de alta capacidad llamada HICAP.
- ✓ **RC2000.** Radiocom 2000. Sistema francés que entró en funcionamiento a finales de 1985.
- ✓ **TACS.** “Total Access Communications System” (Sistema de Comunicaciones de Acceso Total). Se desarrolló en Inglaterra en 1985 por parte de Motorola, operando en la banda de 900 MHz. El sistema TACS 900 adaptado, deriva del sistema analógico AMPS americano desarrollado por los laboratorios Bell y comercializado en EE.UU. en 1984. Con este sistema se obtiene una mejor calidad del servicio, al mismo tiempo que mejora la relación señal/ruido por tener una mayor anchura de canal. Además precisa de equipos más pequeños y baratos.
- ✓ **ITACS.** “International TACS”. Versión mejorada del TACS con un sistema de control mejorado.
- ✓ **ETACS.** “Extended TACS”. Sustituto del TACS.
- ✓ **JTACS.** “Japan TACS”. Es una versión del TACS desarrollada especialmente para Japón.
- ✓ **IETACS.** “International ETACS”. Una variación menor del ETACS, que aporta más flexibilidad.
- ✓ **NTACS.** “Narrowband TACS” (TACS de banda estrecha). Triplica la capacidad del ETACS sin pérdida de calidad de la señal. La tecnología predominante de esta generación es AMPS.

1.2.2 Segunda Generación (2G)

La segunda generación arribó hasta 1990 y, a diferencia de la primera se caracterizó por ser digital. El sistema 2G utiliza protocolos de codificación más sofisticados y son los sistemas de telefonía celular usados en la actualidad. Las tecnologías predominantes son: GSM (“Sistema Global para Comunicaciones Móviles”, *Global System for Mobile Communications*), basado en TDMA; IS-136 conocido también como TIA/EIA-136 o ANSI-136, basado en TDMA; IS-95 basado en CDMA (“Acceso Múltiple por División de Código”, *Code Division Multiple Access*); y PDC (“Comunicaciones Digitales Personales”, *Personal Digital Communications*), este último utilizado en Japón. En la tabla 1.4, se muestra la cronología de los sistemas celulares 2G.

Los protocolos empleados en los sistemas 2G soportan velocidades de información más altas para voz, pero son limitados en comunicaciones de datos. Se pueden ofrecer servicios auxiliares tales como datos, fax y SMS (“Servicio de Mensajes Cortos”, *Short Message Service*). La mayoría de los protocolos de segunda generación ofrecen diferentes niveles de encriptación. En los Estados Unidos y otros países se le conoce a éstos como PCS (“Servicios de Comunicaciones Personales”, *Personal Communications Services*).

La principal ventaja de los teléfonos de segunda generación sobre sus predecesores analógicos son su gran

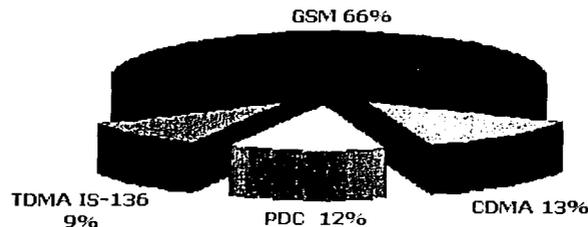
capacidad y menor necesidad de carga de batería. En otras palabras, ellos satisfacen a los usuarios asignando una frecuencia y consumiendo menos potencia.

Tabla 1.4: Cronología de los sistema celulares de segunda generación.

1990	1991	1992	1994	1995-96	1998
IS-54 EEUU (inician sus estudios en 1988)	PDC Japón (estudios desde 1989) GSM-900 Europeo (estudios desde 1982)	GSM-1800 Reino Unido	IS-136 Estados Unidos	IS-95 Corea del Sur, Hong Kong y EE.UU.	GSM fase 2+ Europa

Existen diversas tecnologías que se consideran de segunda generación, entre ellas podemos mencionar: Al net (nombre Austriaco para GSM 900), CDMA/TDMA (basado en tecnología omnipunto), IS-95 basado en CDMA, CT-2 (con 40 portadoras), CTS (GSM Cordless Telephone System), D-AMPS (conocido también como IS-54 ó IS-136), DCS 1800 (Digital Cordless Standard, conocido como GSM 1800, nombre alemán E-Netz), GMSS (estándar de interfaz aérea por satélite), IDEN (fundada en 1944, sistema privado de radio para móviles de Motorola), JS-008(basado en el estándar CDMA para 1900), PHS, Telecentre-H, TETRA, TETRA-POL, UltraPhone 110, por mencionar algunos. Sin embargo, como se menciona previamente, las tecnologías predominantes son: GSM, IS-136 (Interim Standard 136), IS-95 y PDC (ver figuras 1.5 y 1.6).

USUARIOS GLOBALES DIGITALES



Fuente: EMC Word Cellular Database Dic 1999

Figura 1.5: Uso de los sistemas digitales 2G alrededor del mundo.

1.2.2.1 Beneficios de la telefonía celular digital

Los principales son los siguientes:

- Llamadas de excelente calidad, sin ruido o estática.
- Mejor recepción, sobre todo en lugares cerrados.
- Prácticamente libre de clonación.
- La duración de las baterías es mayor.
- Servicios de valor agregado.

- Seguridad y privacidad.

Normas Celular y PCS mas Compatibles por Región

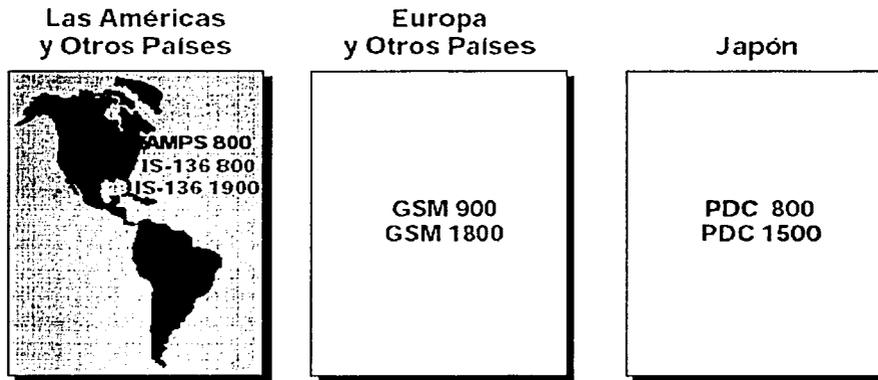


Figura 1.16: Tecnologías predominantes en el Mundo.

La necesidad de sistemas de telefonía celular digital es el resultado del crecimiento de los servicios de telefonía móvil. A pesar de que los sistemas analógicos funcionan bien, la demanda excede la capacidad en muchas regiones. Para minimizar la posibilidad de congestión de la red celular, se desarrollaron los sistemas digitales. La tecnología celular digital involucra la digitalización de la señal de voz y la transmisión sobre el aire de una cadena de bits seriales. Los sistemas digitales ofrecen mayor flexibilidad para servicios adicionales. Los sistemas celulares digitales son más eficientes que los analógicos debido a que incluyen múltiples transmisiones simultáneas sobre un canal de radio simple. A continuación, se hace una descripción de cada uno de estos sistemas.

1.2.2.2 GSM

Tecnología celular desarrollada en Europa y considerada como la tecnología celular más madura, con más de 200 millones de usuarios en más de 100 países alrededor del mundo (ver figura 1.7). GSM es un servicio de voz y datos basado en conmutación de circuitos de alta velocidad la cual combina hasta 4 ranuras de tiempo en cada canal de radio. También conocida como PCS-1900 o DCS-1900, es una de las tres tecnologías de PCS en Norteamérica.

Actualmente, es la única tecnología que proporciona servicios de datos (e-mail, fax, revisar Internet, y acceso de Intranet/LAN inalámbricamente). El sistema GSM se planteó como un sistema multi-operador. El estándar fue diseñado con la posibilidad de que varios operadores pudieran compartir el espectro.

Las redes GSM funcionan actualmente en tres diversos rangos de frecuencia. Estos son:

1. **GSM-900.** O simplemente GSM, es la red digital más adoptada. La utilizan actualmente más de 100 países del mundo, principalmente en Europa y en Asia (Pacífico). Utiliza la frecuencia de radio de 900 MHz. Hoy en día, como ya está bastante saturada en varios países (por ejemplo Portugal), las operadoras 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 tener un teléfono de doble banda que conmute automáticamente para el GSM-900 o para el GSM-1800 según la disponibilidad del sitio. La

red GSM-900 tiene más alcance pero tiene menos capacidad de penetración, por eso es ideal para ser utilizada en espacios abiertos, y menos indicada en las ciudades o en zonas verticalmente urbanizadas.

2. **GSM 1800.** También conocido como DCS-1800 o por PCN, es utilizado en Europa y Asia-Pacífico. Utilizando una banda de frecuencias superior, sirve de alternativa a la ya sobrecargada red GSM-900, pudiendo ser disponible simultáneamente con está.
3. **GSM 1900.** También conocida como PCS-1900; es una red digital utilizada en algunas partes de los Estados Unidos y de Canadá, y también está prevista para otras partes de América y África. Utiliza la frecuencia de radio 1900 MHz.

Una red GSM esta constituida por tres elementos: la terminal, la estación base (BSS) y el subsistema de red o nudo. Adicionalmente existen centros de operación establecidos por las operadoras, para monitoriar el estado de la red.



Figura 1.7: Distribución del sistema GSM en el mundo.

1.2.2.2.1 Características de GSM

El sistema GSM posee una serie de funcionalidades, que pueden ser implementadas por los operadores en sus redes. Entre las características que incluyen en este sistema se encuentran:

- Posibilidad de usar la terminal y la tarjeta SIM en redes GSM de otros países (*roaming*).
- Servicio de mensajes cortos (SMS) a través del que pueden ser enviadas y recibidos mensajes con hasta 126 caracteres.
- Reenvío de llamadas para otro número.
- Transmisión y recepción de datos, y fax con velocidades de hasta 9.6 Kbps.
- Difusión celular - mensajes con hasta 93 caracteres pueden ser enviados para todos los teléfonos móviles en un área geográfica. Los mensajes son recibidos cuando la terminal no está siendo utilizada y pueden ser recibidos cada dos minutos.
- CLIP (*Calling Line Identification Presentation*) - permite ver en pantalla el número que nos está llamando. Por oposición, el CLIR (*Calling Line Identification Restriction*) impide que el número llamante sea visto por alguien (anónimo) gracias al CLIP.
- Posibilidad de visualización de crédito / costes.
- Grupos restringidos de utilizadores - permiten que los teléfonos registrados en los grupos sean utilizados con extensiones de otro teléfono o cuenta.

- Ligaciones sin estática.
- Notificación de llamadas en espera, cuando estamos hablando por teléfono.
- Posibilidad de colocar una llamada en espera, mientras se escoge otra.
- Las llamadas son encriptadas, lo que impide que sean escuchadas por otros.
- Posibilidad de impedir la recepción / transmisión de ciertas llamadas.
- Llamadas de emergencia - el 112 puede ser siempre marcado en cualquier red, incluso sin SIM.
- Posibilidad de varios empleadores hablen entre sí al mismo tiempo - servicio de conferencia.

1.2.2.2.2 Ventajas de GSM

- ✓ Implantación de sistemas de encriptación para proporcionar confidencialidad en las comunicaciones.
- ✓ Autenticación del abonado.
- ✓ Mejora en la calidad de las comunicaciones, al incorporar potentes códigos de control de errores.
- ✓ Simplificación de los equipos de radiofrecuencia.
- ✓ Mayor grado de portabilidad.
- ✓ Mayor flexibilidad a la hora de incorporar los avances y desarrollos tecnológicos (codificación de voz a 6,5 Kb/s).
- ✓ Menor consumo.
- ✓ Transmisión de voz y datos a diferentes velocidades.

1.2.2.2.3 Servicios GSM

- **Servicio de Telecomunicación Móvil:** El sistema GSM proporciona un servicio móvil. Los usuarios pueden hacer uso del sistema mientras se encuentran en movimiento o en situación fija pero no precisada, siempre y cuando estén dentro de la zona de cobertura y utilicen un terminal adecuado.
- **Posibilidad de Acceso a Redes Públicas:** El sistema GSM permite enviar y recibir llamadas de telefonía, datos, facsímil, etc., hacia y desde redes públicas internacionales, tales como Redes Telefónicas Conmutadas, Redes Digitales de Servicios Integrados, Redes de Conmutación de Paquetes, etc.
- **Servicio de Telecomunicación Personal:** El sistema proporciona facilidades de "servicio personalizado", esto es, las llamadas van dirigidas al usuario no a la terminal como ocurre en las redes convencionales. Es decir, cuando un usuario se da de alta en el servicio se le proporciona una tarjeta inteligente (SIM) que incorpora sus datos y condiciones de abonado. Estos datos quedan también registrados en los correspondientes órganos del sistema. De forma separada se dan de alta los terminales, los cuales quedan también registrados en elementos internos del sistema. Cuando un usuario desea hacer uso de los servicios del sistema debe insertar su tarjeta SIM en un terminal dado previamente de alta y, desde ese momento, el terminal queda personalizado para un usuario concreto.

1.2.2.2.4 Especificaciones técnicas de GSM

Se basa en la tecnología de banda estrecha TDMA, donde las bandas de frecuencia disponibles se dividen en ranuras de tiempo, con cada usuario teniendo acceso a una ranura de tiempo a intervalos regulares. TDMA de banda estrecha (*Narrowband TDMA*) permite ocho comunicaciones simultáneas sobre un solo multiplexor de radio y está diseñado para utilizar 16 canales de media exploración.

El método de acceso para GSM es una combinación de TDMA y FDMA. FDMA divide un ancho de banda

de 25 MHz en 124 portadoras de frecuencia, con un espaciamiento entre canales de 200 kHz, a cada estación base se le puede asignar una o más portadoras. Posteriormente, cada portadora es dividida en el tiempo utilizando el esquema TDMA. La unidad fundamental de división es llamada "período de ráfaga o, simplemente, ráfaga" (*burst period*) y dura entre 15/26 ms, o aproximadamente 0.577 ms. En un trama solo se pueden agrupar 8 ráfagas, lo cual forma la unidad lógica para los canales lógicos (esto implica que habrán alrededor de 8 usuarios por portadora). Un canal físico es una ráfaga en cada trama. Los canales se definen por el número y posición de las correspondientes ráfagas. Todo este patrón se repite aproximadamente cada 3 horas. Los canales se pueden dividir en canales dedicados, los cuales se asignan a una estación móvil en particular, y en canales comunes que utiliza la estación móvil en estado de reposo.

1.2.2.2.5 Futuro de GSM

GSM junto con otras tecnologías, es parte de la evolución de las comunicaciones móviles inalámbricas hacia 3G. GSM puede evolucionar hacia EDGE (*Enhanced Data GSM Environment*), posteriormente hacia GPRS (*General Packet Radio System*), HSCSD (*High-Speed Circuit-Switched Data*) para llegar finalmente a UMTS (*Universal Mobile Telecommunications Service*).

1.2.2.3 IS-136 TDMA

La norma IS-136 fue definida como tal por la TIA ("Asociación de Industrias de Telecomunicaciones", *Telecommunications Industries Association*), se especificó por primera vez en 1994 como una evolución del viejo IS-54 (también conocido como D-AMPS). TDMA forma parte de la evolución de la primera generación de sistemas analógicos hacia sistemas digitales. Este sistema tiene sus orígenes en el sistema analógico AMPS, utilizando de inicio la misma banda de operación de 800 MHz, aunque también opera en la banda de 1900 MHz en los EE.UU. (banda PCS). Aunque TDMA es considerada por algunos como la tecnología de segunda generación menos avanzada tecnológicamente ha tenido mucha aceptación en EE.UU. y en algunos países del mundo como una opción de servicios digitales. Para diciembre de 1999 habían aproximadamente 36 millones de usuarios TDMA alrededor del mundo lo cual representa un 9% de la población total mundial.

Esta tecnología existe actualmente en Norteamérica en las bandas de 800MHz y 1900MHz.. Hoy en día, IS-136 se desarrolla en el norte y sur de América, y algunas partes de Asia (ver figura 1.8). Los portadores más importantes de los EE.UU. que usan TDMA son Wireless de la AT&T, BellSouth y Southwestern Bell.

D-AMP/IS-136 en el Mundo



Figura 1.8: Distribución de los sistemas AMPS y IS-136/IS-54 en el mundo.

1.2.2.3.1 Especificaciones técnicas de IS-136

TDMA mejora los servicios ofrecidos por AMPS, dividiendo cada canal analógico originalmente de 30 kHz en tres canales digitales (en tiempo), es decir, una técnica de acceso múltiple la cual divide los canales de radio en tres ranuras de tiempo, cada usuario recibe en una ranura diferente. Este método permite a tres usuarios en cada canal de radio comunicarse sin interferirse uno con el otro. Con lo cual se triplica la capacidad del sistema (llamado D-AMPS). IS-136 TDMA coexiste normalmente con los canales analógicos en la misma red. IS-136 es un estándar de modo dual, dado que utiliza los modos analógicos AMPS y D-AMPS. Una ventaja de esta tecnología del modo dual es que los usuarios se pueden beneficiar de la amplia cobertura de redes analógicas establecidas mientras que la cobertura de IS-136 TDMA crece.

IS-136 tiene dos esquemas de modulación: $\pi/4$ -QPSK coherente y 8-PSK. El canal de control utiliza modulación $\pi/4$ -DQPSK. Las tasas de bits de información para usuarios con la modulación $\pi/4$ -QPSK es de 9.6 Kbps a tasa sencilla, o 19.2 Kbps a tasa doble, y 28.8 Kbps a tasa triple; y para la modulación coherente 8-PSK son: 14.4 Kbps a tasa simple, 28.8 Kbps a tasa doble y 43.2 Kbps a tasa triple.

IS-136 soporta una variedad de servicios digitales adicionales, sin embargo el nuevo IS-136+ y IS-136HS (basado en el estándar EDGE) permite una transmisión a mayor tasa (473 Kbs por canal). Una combinación de las tecnologías GPRS-136HS, conocida como EGPRS, soporta aplicaciones de Internet utilizando TCP/IP.

1.2.2.3.2 Futuro de IS-136

La evolución de IS-136 hacia sistemas de tercera generación puede ofrecernos muchas de las ventajas que especifica IMT-2000, IS-136 puede tomar diferentes caminos de migración hacia 3G; esto lo abordaremos con más detalle en capítulos posteriores.

1.2.2.4 IS-95 CDMA

Sistema propuesto a principios de los 90's del siglo pasado por la empresa Qualcomm, normalizado por la TIA en 1993 como Interfase de Aire Común IS-95 CDMA y actualizada en 1995 para operar en la banda de 1900 MHz PCS. En diciembre de 1999, CDMA abarcaba el 13% del total de usuarios digitales en el mundo. CDMA comparte la banda 1900 MHz con GSM en los EE.UU. Se diferencia de las otras dos tecnologías por su uso de la tecnología de espectro esparcido. Más que dividir el espectro RF en canales de usuario separados por intervalos de frecuencia o ranuras de tiempo, esta tecnología separa a los usuarios asignándoles códigos digitales dentro del mismo espectro. Utiliza 131 canales en un ancho de banda de 1250 kHz. Las ventajas de la tecnología de CDMA incluyen altas capacidad e inmunidad del usuario ante la interferencia de otras señales. Funciona en los 800 y 1900 MHz. Los portadores principales de los EE.UU. que usan CDMA son AirTouch, Bell Atlantic/Nynex, GTE, Primeco (consorcio de PCS de AirTouch, Bell Atlantic/Nynex y USWest), y Sprint PCS (consorcio de Sprint, de Comcast, de Cox y de TCI). Un análisis más detallado sobre este sistema se hará en el capítulo 3.

1.2.2.5 PDC

El sistema PDC, originalmente conocido como JDC (*Japanese Digital Cellular*) solamente opera en Japón (ver figura 1.8). Utiliza una variación de TDMA el cual divide cada canal en ranuras de tiempo individuales con el objeto de incrementar la cantidad de información que puede ser transportada.

Es un sistema basado en el trabajo realizado por el comité organizado por MPT (*Ministry of Posts and Telecommunications*), los requerimientos para PDC se definieron en 1990. El primer sistema lo introdujo NTT DoCoMo como un reemplazo de las redes analógicas de entonces. NTT prestó el primer servicio comercial en 1993 en la banda de 800 MHz y en 1994 en la banda de 1.5 GHz. Debido a la alta demanda del ancho de banda en Japón, éste sistema puede trabajar en dos modos: tasa completa y media tasa. Los canales

de tasa media tiene baja calidad de voz y baja tasa de transmisión de datos, pero permite que más canales ocupen el mismo ancho de banda. En Japón el número de suscriptores es muy alto, tanto que abarcaba el 12% de los usuarios digitales a nivel mundial en diciembre de 1999. En conjunto con otros estándares de comunicaciones móviles, PDC puede evolucionar gradualmente hacia IMT-2000. De hecho, la tecnología WCDMA tuvo sus primeras pruebas en Japón.

1.2.2.5.1 Especificaciones técnicas de PDC

PDC es la tecnología TDMA con mayor eficiencia espectral, con 6 canales a tasas medias (o, a tres tasas completas) colocados en 25 kHz, comparado con los tres canales de 30 kHz en IS-136 y los 8 canales en 200 kHz para GSM. La voz a tasa completa normalmente requiere de una tasa de transferencia digital de 9.6 Kbps, como en GSM, TDMA IS-136 y CDMA. PDC ofrece dos tasas: 9.6 Kbps en canales a tasa completa o 5.6 Kbps en canales a media tasa. La calidad de voz a 5.6 Kbps es notablemente menor a una conexión de 9.6 Kbps.

Las redes PDC soportan varios servicios como son mensajería e identificación de usuario, utilizando sus capacidades de Red Inteligente (IN, *Intelligent Network*) puede realizar servicios tales como: llamadas pre-pagadas, números personales, números de acceso universal, esquemas avanzados de recargo y redes privadas virtuales inalámbricas (VPNs). VPNs permite a diferentes usuarios comunicarse simultáneamente entre sí (2 ó más) aunque estén ubicados en lugares lejanos.

En Japón, la cobertura en interiores es de vital importancia, lo cual marca una diferencia ante las diferentes tecnologías. PDC ha sido diseñado para resolver el problema de congestión en lugares como centros comerciales, oficinas y demás.

Con el fin de la transmisión de datos se introdujo el sistema PDC-P (*PDC Mobile Packet Data Communication System*), el cual utiliza una red basada en paquetes y permite al usuario utilizar un canal simultáneamente, esto evita que el canal sea dedicado permanentemente a un usuario. PDC-P ofrece una tasa de transmisión de 28.8 Kbps.

1.2.2.5.2 Futuro de PDC

Moverse hacia una transferencia de datos por paquetes y circuitos es uno de los pasos más importantes para alcanzar los requerimientos de IMT-2000. Por lo tanto, PDC ofrece un camino de migración hacia sistemas 3G.

Finalmente, en la tabla 1.9 se resumen algunas características de los sistemas celulares de segunda generación.

Tabla 1.9: Características de los Sistemas Celulares Digitales 2G.

	SISTEMAS			
	PDC	GSM	IS-136	IS-95
Región	Japón	Europa / otros	EE.UU. / otros	EE.UU.
Tipo de Estándar	Celular móvil	Celular móvil	Celular móvil	Celular móvil
Inicio de servicio	1991	1991	1994	1993
Regulación	Varios	GSM Association	Varios	TIA
Desarrolladores	NTT DoCoMo	Compañías de Telecomunicaciones Europeas	Subcomité TR- 45.5 TIA	Subcomité TR-45.5 TIA
Acceso Múltiple	TDMA/FDMA	TDMA/FDMA	TDMA/FDMA	CDMA/FDMA
Banda de Operación [MHz]	800/900/1400	900/1800	800/1900	800/1900

Tabla 1.9: Características de los Sistemas Celulares Digitales 2G. (continuación)

	SISTEMAS			
	PDC	GSM	IS-136	IS-95
Espaciado entre portadoras [kHz]	25	200	30	1250
Modulación	$\pi/4$ DQPSK	GSMK	$\pi/4$ DQPSK	BPSK/QPSK
Codificación de Voz (Tasa de la voz en el codificador en kHz)	PSI-CELP (3.45) VSELP (6.7)	RPE-LTP (13) VSELP (5.6) ACELP (12.2)	VSELP (7.95) ACELP (7.4)	QCELP (8, 4, 2, 1) RCELP (EVRC)
Duración de las Tramas [ms]	20	4.615	40	20
Codificación de canal	Tasa de $1/2$ convolucional	Tasa de $1/2$ convolucional	Tasa de $1/2$ convolucional	Tasa de $1/2$ (fwd) y de $1/3$ (rev) convolucional
Tasa de transmisión en el canal [Kb/s]	42	270.8	48.6	1228.8
Ranuras por trama	3/6	8/16	6	1
Salto de frecuencia	No	Sí	No	No
Transferencia de Llamada	Dura	Dura	Dura	Suave

TIA: Telecommunications Industry Association

PCS 1900 (GSM para EE.UU.) tiene las mismas características que GSM en la tabla a excepción que trabaja en la banda 1900

CAPÍTULO 2

Fundamentos de CDMA

2.1 PRESENTE, PASADO Y FUTURO DE CDMA

Los orígenes del espectro esparcido se encuentran en la milicia y en sistemas de navegación. En 1949, John Pierce escribió un apunte técnico en el cual describió un sistema de multiplexaje, conocido en nuestros días como sistema de *acceso múltiple de espectro esparcido por salto de tiempo*. Claude Shannon y Robert Pierce introdujeron las ideas básicas de CDMA en 1949, ya que describieron el efecto de interferencia y la probabilidad de degradación de un sistema CDMA. En 1950, De Rosa-Rogoff propuso un *sistema de espectro esparcido de secuencia directa* e introdujo la ecuación de la ganancia de proceso y el concepto de ruido de multiplexaje. En 1956, Price y Green obtuvieron la patente de los receptores RAKE de antimultitrayectoria. Señales provenientes de diferentes trayectorias de propagación pueden resolverse al combinarse con una señal de banda ancha y de espectro esparcido en un receptor RAKE. El problema de cercanía-lejanía fue primeramente mencionado por Magnuski en 1961.

En 1978, Nettleton y Cooper sugirieron la aplicación del espectro esparcido para comunicaciones celulares. Durante los años 1980s, Qualcomm realizó investigaciones sobre técnicas DS-SS-SS, lo que derivó finalmente en la comercialización de comunicaciones celulares de espectro esparcido con el estándar de CDMA IS-95 de banda angosta, en julio de 1993. Las operaciones comerciales del sistema IS-95 empezaron en 1996. La detección de multiusuarios (MUD) ha sido objeto de extensas investigaciones desde 1986.

Durante los años 1990s, las técnicas de banda ancha de CDMA con un ancho de banda de 5 MHz o más han sido estudiadas intensamente alrededor del mundo, además se han construido diferentes sistemas de prueba. Estos estudios incluyeron el Acceso Múltiple con FRAMES en Europa; Core-A en Japón; el esquema armonizado WCDMA por los Europeos y Japoneses; cdma2000 en los Estados Unidos; y los esquemas de la Asociación Tecnológica de Telecomunicaciones I y II (TTA I y TTA II) en Corea.

Basado en la descripción anterior la era de CDMA se puede dividir en tres periodos: la era pionera de CDMA, la era de CDMA de banda angosta, y la era de CDMA de banda ancha, como se muestra en la tabla 2.1.

2.2 CONCEPTOS DE CDMA

CDMA significa - "Acceso Múltiple por División de Código." - En los sistemas CDMA todos los usuarios transmiten en el mismo ancho de banda simultáneamente, a los sistemas que utilizan este concepto se les denomina "sistemas de espectro esparcido". En esta técnica de transmisión, el espectro de frecuencias de una señal de datos es esparcido usando un código no relacionado con dicha señal. Como resultado el ancho de banda es mucho mayor. En vez de utilizar las ranuras de tiempo o frecuencias, como lo hacen las tecnologías tradicionales, usa códigos matemáticos para transmitir y distinguir entre múltiples conversaciones inalámbricas. Los códigos usados para el esparcimiento tienen valores pequeños de correlación y son únicos para cada usuario. Esta es la razón por la que el receptor que tiene conocimiento del código de un determinado transmisor, es capaz de seleccionar la señal deseada.

Uno de los problemas más importantes en el diseño de un sistema de comunicaciones inalámbricas consiste

en proveer facilidades de comunicación a diferentes usuarios, de tal forma que el espectro de radiofrecuencias sea aprovechado de una forma óptima y a un costo razonable. Teniendo en cuenta que el espectro de frecuencias es un recurso limitado es necesario diseñar estrategias de acceso múltiple, de tal forma que se puedan asignar, dentro de las debidas restricciones económicas de un ancho de banda previamente asignado.

Tabla 2.1: Evolución de CDMA.

Era Pionera de CDMA	
1949	John Pierce: espectro esparcido con saltos de tiempo.
1949	Claude Shannon y Robert Pierce: ideas básicas de CDMA.
1950	De Rosa-Rogoff: espectro esparcido de secuencia directa.
1956	Price y Green: patentan el receptor RAKE de antimultitrayectorias.
1961	Magnuski: problema cercano / lejano.
1970's	Diversos desarrollos para el campo militar y sistemas de navegación.
Era del CDMA de banda angosta	
1978	Cooper y Netteton: aplicaciones celulares del espectro esparcido.
1980's	Investigación de las técnicas de CDMA para aplicaciones celulares.
1986	Formulación de la detección óptima de multiusuario de Verdu.
1993	Estándar IS-95.
Era del CDMA de banda ancha	
1995	Europa : FRAMES_FMA2. WCDMA
	Japón : Core-A.
	USA : cdma2000.
	Corea : TTA I y TTA II.
2000's	Comercialización de los sistemas CDMA de banda ancha.

El esparcimiento en espectro de la señal transmitida le proporciona a CDMA su capacidad de acceso múltiple. Debido a esto es importante conocer las técnicas necesarias para generar las señales de espectro esparcido y las propiedades de estas señales. Una técnica de modulación de espectro esparcido debe satisfacer dos criterios:

- El ancho de banda de transmisión debe ser mucho mayor al ancho de banda de la información.
- El ancho de banda de radiofrecuencia resultante es determinado por una función diferente al de la información enviada (con el fin de que el ancho de banda sea estadísticamente independiente de la señal original). Esto no incluye a técnicas de modulación como FM o PM.

La relación entre el ancho de banda de la señal transmitida y el ancho de banda de la señal original es llamado "ganancia de proceso", G_p , del sistema de espectro esparcido.

$$G_p = \frac{B_t}{B_i} \quad (2-1)$$

donde B_t es el ancho de banda de la señal transmitida y B_i es el ancho de banda de la señal original.

El receptor correlaciona a la señal recibida con una réplica generada sincrónicamente del código esparcido para recobrar la señal original que contiene la información. Esto implica que el receptor debe conocer el código utilizado para modular la información.

Debido a la codificación y al resultado de ampliar el ancho de banda, las señales de espectro esparcido tienen algunas propiedades que difieren de las señales de banda angosta.

2.2.1 Capacidad de Acceso Múltiple

Si múltiples usuarios transmiten una señal de espectro esparcido al mismo tiempo, el receptor será capaz de distinguir entre los usuarios, proporcionándole a cada usuario un código único que tiene una correlación suficientemente baja con los otros códigos. Correlacionando la señal recibida con una señal de código particular se decodificará solo la señal del usuario deseado, mientras las otras señales de espectro esparcido permanecerán sobre el gran ancho de banda. De este modo la potencia de la señal deseada será mayor que la potencia interferente de los demás usuarios, y la señal deseada podrá ser extraída. La capacidad del acceso múltiple se ilustra en la figura 2.2. En donde la figura 2.2a, dos usuarios generan una señal de espectro esparcido de sus señales de datos de banda angosta. En la figura 2.2b, ambos usuarios transmiten sus señales de espectro esparcido al mismo tiempo. En el receptor 1, solo la señal del usuario 1 es desesparcida y la información recobrada.

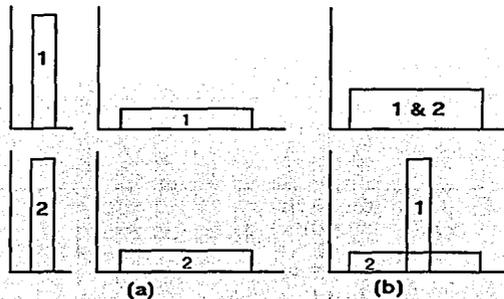


Figura 2.2: Principio del Acceso Múltiple de Espectro Esparcido.

2.2.2 Protección contra Interferencia de Multitrayectoria

En el canal de radio no existe sólo una trayectoria entre el transmisor y el receptor. Debido a reflexiones y refracciones, una señal será recibida desde diferentes trayectorias. Todas las señales son copia de la misma señal transmitida pero con diferentes amplitudes, fases, retardos y ángulos de arribo. La suma de estas señales en el receptor en algunas frecuencias será constructiva, y en otras será destructiva. En el dominio del tiempo, esto resulta en una señal dispersada. La modulación de espectro esparcido puede combatir esta interferencia de multitrayectoria; sin embargo, la manera en la que esto se logra depende mucho del tipo de modulación empleado.

2.2.3 Privacidad

La señal transmitida sólo puede ser desesparcida y la información recuperada si el código se conoce en el receptor.

2.2.4 Rechazo a la Interferencia

Correlacionando la señal del código con una señal de banda angosta, esparcirá la potencia de la señal de banda angosta, reduciendo con esto la potencia interferente en el ancho de banda de la información. Esto se observa en la figura 2.3. La señal de espectro esparcido (S) recibe una interferencia de banda angosta (I). En el receptor, la señal de espectro esparcido es desesparcida mientras la señal de interferencia es esparcida, apareciendo como ruido de fondo.

2.2.5 Capacidad de Antibloqueo, especialmente de Banda Angosta

Esta propiedad es similar al rechazo de interferencia. Además, está y la siguiente propiedad hacen que la modulación de espectro esparcido sea atractiva para aplicaciones militares.

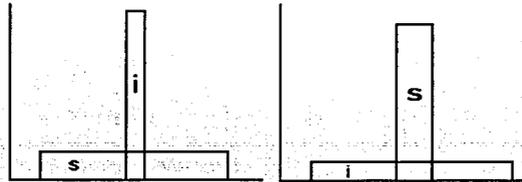


Figura 2.3: Rechazo a la Interferencia.

2.2.6 Baja Probabilidad de Interferencia (LPI)

Debido a su baja densidad de potencia, la señal de espectro esparcido es difícil de detectar e interceptar.

2.3 CLASIFICACIÓN DE LOS TIPOS DE CDMA

Una clasificación general de CDMA se muestra en la figura 2.4. Existen una gran variedad de técnicas de modulación que generan señales de espectro expandido. A continuación mencionaremos solo las más importantes:

- ✓ *Espectro Esparcido de Secuencia Directa (DS-CDMA)*. La señal de información original es multiplicada directamente por una señal de código de alta tasa de chip.
- ✓ *Espectro Esparcido de Salto de Frecuencia (FH-CDMA)*. La frecuencia portadora a la cual es transmitida la señal de información original es cambiada rápidamente de acuerdo al código de la señal.
- ✓ *Espectro Esparcido de Salto de Tiempo (TH-CDMA)*. La señal de información original no se transmite continuamente. La señal es transmitida en ráfagas cortas, cuya decisión de transmisión es hecha por el código de la señal.
- ✓ *Espectro Esparcido con Modulación Híbrida*. Adicionalmente a las dos técnicas mencionadas anteriormente, es posible combinar CDMA con otros métodos de acceso múltiple: TDMA, modulación de portadora múltiple (MC, multicarrier) o multitono (MT, multitono). En el caso de MC-CDMA, el esparcimiento se lleva a cabo en frecuencia, mientras que para MT-CDMA se realiza en el tiempo. Ambos métodos están basados en multiplexaje por división de frecuencia ortogonal.

2.4 ACCESO MÚLTIPLE DE ESPECTRO ESPARCIDO

2.4.1 ¿Qué es el Espectro Esparcido?

El espectro esparcido es un sistema en el cual la señal transmitida se esparce en una banda de frecuencia ancha, de hecho, mucho más ancha que la mínima requerida para transmisiones estándares de banda angosta a fin de mejorar la relación señal a ruido (S/N). Las comunicaciones en espectro esparcido no representan una

utilización eficiente del ancho de banda, sin embargo, se justifica su uso cuando las frecuencias están ya ocupadas por sistemas existentes.

Las señales de espectro esparcido aún siendo ya “esparcidas” sobre un gran ancho de banda pueden coexistir con señales de banda angosta tan solo añadiendo un pequeño incremento en el ruido que el receptor de banda angosta ve con facilidad.

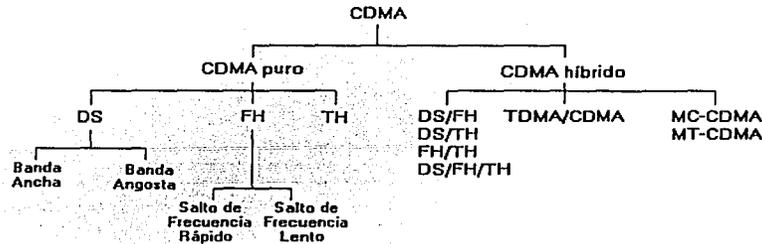


Figura 2.4: Clasificación de CDMA.

La desventaja efectiva de la banda angosta en comunicaciones informáticas es la limitación de ancho de banda; así que las señales deben transmitirse con la potencia suficiente para que la interferencia por ruido gaussiano no sea efectiva y la probabilidad de que los datos recibidos no sean correctos permanezca baja.

Desde otro punto de vista, el aumento en el rendimiento de los sistemas de banda ancha se refiere como “el proceso gana”, este término se utiliza para describir la fidelidad recibida de señal que se ganó a costa de sacrificar ancho de banda. Los errores introducidos por un canal ruidoso pueden reducirse a cualquier nivel deseado sin sacrificar la tasa de transferencia de información utilizada.

La señal puede esparcirse sobre un ancho de banda grande con los niveles menores de potencia fantasmal y todavía lograr la tasa de información requerida. La potencia total de la señal se interpreta como la zona debajo la curva fantasmal de densidad, entonces señales con la potencia total equivalente pueden tener o una potencia grande de señal concentrada en un ancho de banda pequeño o una potencia pequeña de señal esparcida sobre un ancho de banda grande (ver figura 2.5).

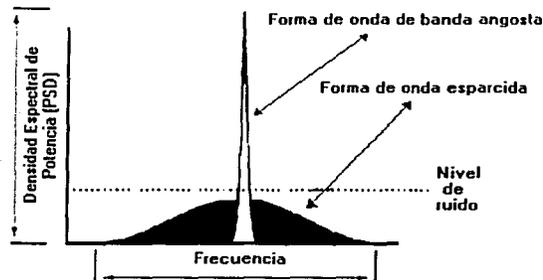


Figura 2.5: Relación Densidad Espectral de Potencia v_s Frecuencia.

Al proceso de codificación y esparcimiento del espectro de una señal también se le llama *modulación de espectro esparcido*. CDMA también es conocida como Acceso Múltiple por Espectro Esparcido (SSMA).

En los sistemas de comunicación con espectro esparcido (SS), el ancho de banda de la señal es esparcido, comúnmente a varios órdenes de amplitud antes de su transmisión. Cuando hay un sólo usuario en una banda SS, el uso del ancho de banda es ineficiente. En cambio, en un ambiente multiusuario, los usuarios pueden compartir la misma banda SS y el sistema llega a ser eficiente mientras se mantengan las ventajas del espectro esparcido.

A continuación se presentan las principales técnicas utilizadas en Espectro Esparcido:

2.4.1.1 Secuencia Directa (DS)

Una señal SS en secuencia directa (*DS-SS*), se obtiene modulando el mensaje con una señal seudo aleatoria de banda ancha, el producto nos da una señal de banda ancha. La señal modulada puede ser digital o analógica pero en la mayoría de los casos es digital. En el caso de una señal digital la modulación de los datos es en ocasiones omitida y la señal original es multiplicada directamente por la señal de código, y la señal resultante modula a la portadora de banda ancha. De ésta multiplicación directa toma su nombre la técnica de secuencia directa CDMA. En la figura 2.6, se muestra un diagrama a bloques de un transmisor DS-SS.

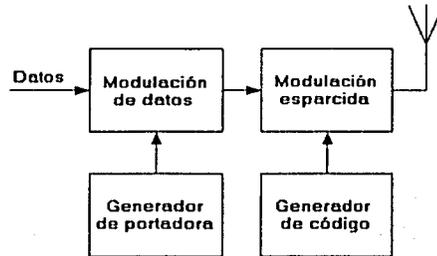


Figura 2.6: Diagrama de bloques de un Transmisor DS-SS.

La señal de información binaria modula una portadora de RF. La portadora modulada es modulada por una señal de código. Esta señal de código consiste en un número de bits de código llamado “chips” que pueden ser +1 ó -1. Para obtener el esparcido adecuado de la señal, la tasa de chips de la señal de código debe ser mucho mayor a la tasa de chips de la señal de información. Para la modulación del código, pueden emplearse varias técnicas de modulación, utilizándose usualmente: modulación digital por desplazamiento en fase binaria (BPSK), *binary phase shift keying*; modulación digital por desplazamiento en fase binaria diferencial (D-BPSK), *Differential BPSK*; modulación digital por desplazamiento en fase con cuadratura (QPSK), *quadratura phase shift keying*; o modulación digital por desplazamiento mínimo (MSK), *minimum shift keying*.

Si se omite la modulación de la información y se emplea BPSK para la modulación del código, obtenemos el diagrama a bloques de la figura 2.7.

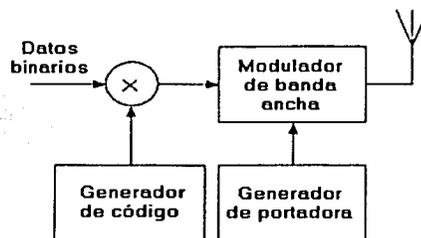


Figura 2.7: Diagrama modificado de un Transmisor DS-SS.

La señal de secuencia directa de espectro esparcido (DS-SS) resultante de este transmisor se muestra en la figura 2.8.

La tasa de la señal de código es llamada *tasa chip*; un chip denota un símbolo cuando nos referimos a esparcimiento de señales de código. Es ésta figura, son transmitidos 10 chips de código por símbolo de información (la tasa chip de código es 10 veces la tasa de la información) así que la ganancia de este proceso es igual a 10.

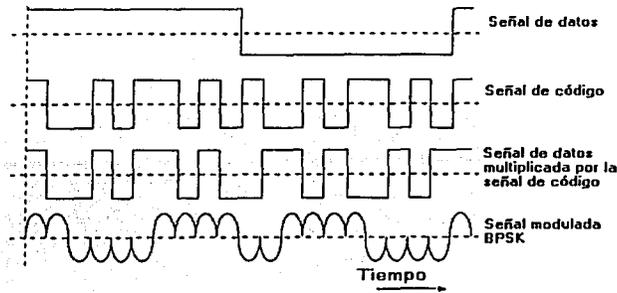


Figura 2.8: Generación de una señal de Espectro Esparcido con Modulación BPSK.

Después de la transmisión de la señal, el receptor (mostrado en la figura 2.9) usa demodulación coherente para desesparcir la señal SS, utilizando una secuencia de código generado localmente. Para poder realizar el desesparcimiento, el receptor no sólo debe conocer la secuencia de código usada para esparcir la señal, adicionalmente debe sincronizar el código de la señal recibida y el código generado localmente. Esta sincronización debe realizarse al comienzo de la recepción y debe mantenerse hasta que el total de la señal haya sido recibida. El bloque de código de sincronización/rastreo desarrolla esta operación. Después de desesparcir los resultados de una señal de información modulada, y después de la demodulación, la información original puede ser recuperada.

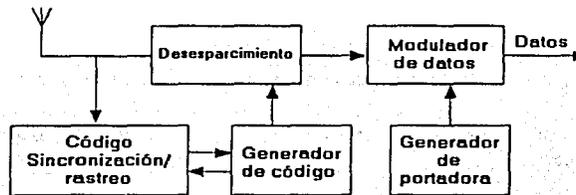


Figura 2.9: Receptor de una señal DS-SS.

A continuación se describen las propiedades más importantes de DS-CDMA:

2.4.1.1.1 Capacidad de acceso múltiple

Si múltiples usuarios usan el mismo canal al mismo tiempo, habrán múltiples señales de secuencia directa traslapándose en tiempo y frecuencia. Se emplea demodulación coherente en el receptor para remover la modulación del código. Esta operación concentra la potencia del usuario deseado en el ancho de banda de modulación. Si la correlación entre el código del usuario deseado y los códigos de los usuarios interferentes es baja, la detección coherente sólo pondrá una pequeña parte de las señales interferentes dentro del ancho de banda de la información.

2.4.1.1.2 Interferencia de multitrayectoria

Si la secuencia de código tiene una función de autocorrelación ideal, entonces la función de correlación es cero fuera del intervalo $[-T_c, T_c]$, donde T_c es la duración del chip. Esto significa que si la señal deseada y las versiones que son retrasadas más de $2T_c$ son recibidas, la demodulación coherente tratará a las versiones retrasadas como señal interferente, poniendo sólo una pequeña parte de la potencia en el ancho de banda de la información.

2.4.1.1.3 Interferencia de banda angosta

La detección coherente en el receptor involucra una multiplicación de la señal recibida por una secuencia de código generada localmente. Sin embargo, como se vio en el transmisor, al multiplicar una señal de banda angosta con una secuencia de código de banda ancha, esto esparce el espectro de la señal de banda angosta de tal manera que la potencia en el ancho de banda de la información disminuye con un factor igual al proceso de ganancia.

2.4.1.1.4 Baja probabilidad de interferencia (LPI)

Debido a que la señal de secuencia directa usa la totalidad espectro todo el tiempo, tendrá una muy baja potencia de transmisión por Hz. Esto hace muy difícil de detectar una señal de secuencia directa DS.

Además de las anteriores propiedades, DS-CDMA tiene otras propiedades específicas que se pueden dividir en ventajas y desventajas:

Ventajas:

- ✓ La generación de la señal codificada es fácil. Se puede realizar con una simple multiplicación.
- ✓ Debido a que sólo se tiene que generar una frecuencia portadora, el sintetizador de frecuencia (generador de portadora) es simple.
- ✓ Es posible la demodulación coherente de la señal de secuencia directa (DS).
- ✓ No se necesita sincronización entre los usuarios.

Desventajas:

- ✓ Es difícil lograr y mantener la sincronización entre la señal de código generada localmente y la señal recibida. La sincronización se debe mantener dentro de una fracción del tiempo chip.
- ✓ Para una correcta recepción, el error de sincronización de la secuencia de código generada localmente y la secuencia de código recibida debe ser muy pequeño, una fracción del tiempo chip. Esto combinado con la indisponibilidad de grandes bandas de frecuencias contiguas, prácticamente limita el ancho de banda a 10-20 MHz.
- ✓ La potencia recibida de los usuarios cercanos a las radio bases es mucho mayor que la de los lejanos. Debido a que un usuario transmite sobre la totalidad del ancho de banda, un móvil cercano a la radio base creará mucha interferencia a los usuarios que se encuentran lejanos de la radio base, haciendo imposible su recepción. Este efecto de cercanía-lejanía (*near-far*) se puede eliminar aplicando un algoritmo de control de potencia de tal manera que todos los usuarios reciban la señal de la estación base con el mismo nivel de potencia. Sin embargo, este control es complicado.

2.4.1.2 Salto de Frecuencia (FH)

En CDMA de salto de frecuencia (*FH-CDMA*), la frecuencia de la portadora de la señal de información mo-

dulada no es constante pero cambia periódicamente. Durante intervalos de tiempo T la frecuencia de la portadora queda igual, pero después de cada intervalo de tiempo la portadora salta a otra (o posiblemente la misma) frecuencia. El patrón de saltos es decidido por la señal codificada. El conjunto de frecuencias disponibles que la portadora puede utilizar es llamado "hop-ser".

La ocupación de frecuencia de un sistema FH-SS (ver figura 2.10) difiere considerablemente de un sistema DS-SS. Un sistema DS ocupa toda la banda de frecuencia cuando transmite, mientras que un sistema FH usa solamente una pequeña parte del ancho de banda cuando transmite, pero la localización de esta parte difiere en tiempo.

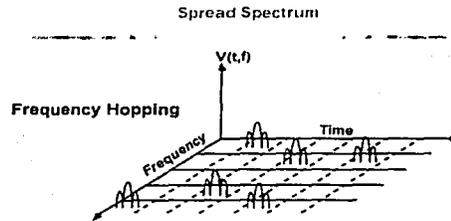


Figura 2.10: Espectro Esparcido de Salto de Frecuencia.

La diferencia entre el uso de las frecuencias de FH-SS y DS-SS se ilustran en la figura 2.11. Suponga que un sistema FH está transmitiendo en la banda de frecuencia 2 durante el primer periodo de tiempo. Un sistema DS transmitiendo en el mismo periodo de tiempo esparce su señal potencia a través de toda la banda de frecuencia, de tal manera que la potencia transmitida en la banda de frecuencia 2 será mucho menor que la del sistema FH. Sin embargo, el sistema DS transmite en la banda de frecuencia 2 durante todos los periodos de tiempo, mientras que un sistema FH solamente usa esta banda parte del tiempo. En promedio, ambos sistemas transmitirán la misma potencia en la banda de frecuencia.

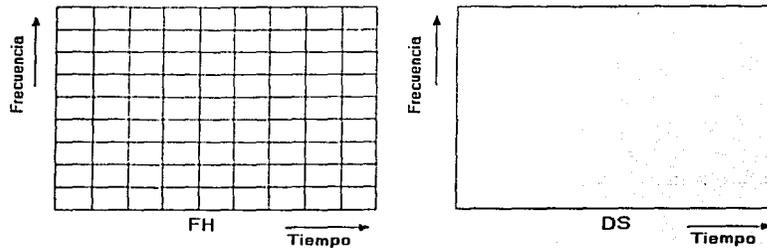


Figura 2.11: Ocupación de Tiempo/Frecuencia para una señal FH y DS.

El diagrama de bloques de un sistema FH-CDMA se presenta en la figura 2.12. La señal de datos es modulada en banda base. Usado un sintetizador de rápida frecuencia, que es controlado por la señal de código, la frecuencia portadora es convertida a la frecuencia de transmisión.

El proceso inverso se realiza en el receptor. Utilizando una secuencia de código generada localmente, la señal recibida es convertida de regreso a la banda base. Los datos se recobran después de la demodulación. El circuito de sincronización y rastreo asegura que los saltos de la portadora generada localmente se sincronice con el patrón de salto de la portadora recibida de tal manera que sea posible un adecuado desesparcimiento de la señal recibida.

En CDMA de salto de frecuencia se hace una distinción basada en la tasa de salto de la portadora. Si la tasa de salto es (mucho) más grande que la tasa de símbolo, se habla de un salto de frecuencia rápida (F -FH). En este caso la frecuencia de la portadora cambia un número de veces durante la transmisión de un símbolo, de

tal manera que un solo bit es transmitido en diferentes frecuencias. Si la tasa de salto es (mucho) más pequeña que la tasa del símbolo, se habla de un salto de frecuencia lento (S-FH). En este caso múltiples símbolos se transmiten a la misma frecuencia.

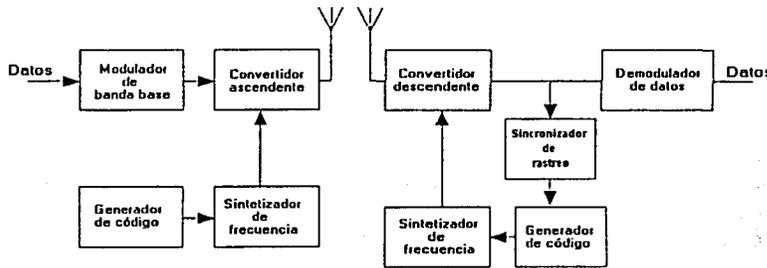


Figura 2.12: Diagrama de un Transmisor y un Receptor para un sistema FH-CDMA.

El ancho de banda ocupado por la señal no depende solamente del ancho de banda de la señal de información, sino también de la forma de la señal de salto y de la frecuencia de salto. Si la frecuencia de salto es mucho más pequeña que el ancho de banda de la información (que es el caso del salto de frecuencia lento), implica que el ancho de banda de la información es el factor principal que decide el ancho de banda ocupado. Si la frecuencia de salto es mucho más grande que el ancho de banda de la información, la forma del pulso de la señal de salto decidirá el ancho de banda ocupado en una frecuencia de salto. Si esta forma de pulso es muy abrupta (resultando en un cambio de frecuencia muy abrupto), la banda de frecuencia será muy amplia, limitando el número de saltos de frecuencia. Si aseguramos que los cambios de frecuencia sean suaves, la banda de frecuencia en cada salto de frecuencia será de aproximadamente $1/T_h$ veces el ancho de banda de frecuencia, donde T_h es igual a la frecuencia de salto. Podemos hacer los cambios de frecuencia suaves decrementando la potencia transmitida antes del salto de frecuencia e incrementándola de nuevo cuando la frecuencia de salto haya cambiado.

Ahora discutiremos las propiedades de un sistema FH-CDMA con respecto a la capacidad de acceso múltiple, rechazo de interferencia de multirayectoria, rechazo de interferencia de banda angosta y probabilidad de intercepción.

2.4.1.2.1 Acceso Múltiple

Es fácil visualizar como el CDMA F-FH y S-FH obtienen su capacidad de acceso múltiple. En F-FH un símbolo es transmitido en diferentes bandas de frecuencia. Si el usuario deseado es el único transmitiendo en la mayoría de las bandas de frecuencia, la potencia de una señal deseada será mucho más grande que la potencia de interferencia y la señal será recibida correctamente.

En S-FH múltiples símbolos son transmitidos a una frecuencia. Si la probabilidad de que otros usuarios transmitan en la misma banda de frecuencia es suficientemente baja, el usuario deseado será recibido correctamente la mayoría de las veces. Para aquellas veces en que los usuarios que interfieren transmiten en la misma banda de frecuencia, son usados los códigos de corrección de errores para recuperar los datos transmitidos durante ese periodo de tiempo.

2.4.1.2.2 Interferencia de Multirayectoria

En CDMA F-FH, la frecuencia de la portadora cambia un número de veces durante la transmisión de un símbolo. De esta forma, una frecuencia de una señal particular será modulada y transmitida sobre un número de frecuencias de portadoras. El efecto de multirayectoria es diferente a diferentes frecuencias de portadora. Como resultado, las frecuencias de señal que son amplificadas en una frecuencia de portadora será atenuada

en otra frecuencia de portadora y viceversa. En el receptor las respuestas a diferentes frecuencias de salto son promediadas, reduciendo la interferencia de multitrayectoria. Dado que usualmente combinaciones no coherente son usadas, esto no es tan efectivo como el rechazo de interferencia de multitrayectoria en un sistema DS-CDMA, sin embargo nos ofrece una pequeña mejoría.

2.4.1.2.3 Interferencia de Banda Angosta

Suponiendo que una señal de banda angosta está interfiriendo en una de las frecuencias de salto. Si existe G_p frecuencias de salto (donde G_p es la ganancia de procesamiento), el usuario deseado usará la frecuencia de salto donde la interferencia es localizada a un porcentaje de $1/G_p$ del tiempo. La interferencia es entonces reducida por un factor de G_p .

2.4.1.2.4 Baja Probabilidad de Interferencia (LPI)

La dificultad de interceptar una señal FH no reside en su baja potencia de transmisión, ya que durante su transmisión utiliza tanta potencia por Hertz como una transmisión continua. Pero la frecuencia en la cual la señal está siendo transmitida es desconocida, y la duración de la transmisión en una frecuencia en particular es muy pequeña. No obstante, aunque la señal es más rápidamente interceptada que una señal DS, sigue siendo una difícil tarea para realizar.

A parte de las propiedades mencionadas anteriormente, FH-CDMA posee otras características específicas que pueden clasificarse como ventajas y desventajas:

Ventajas:

- ✓ La sincronización es mucho más fácil con un sistema FH-CDMA que con DS-CDMA. Con FH-CDMA, la sincronización debe realizarse dentro de una fracción del tiempo de salto. Dado que el esparcimiento espectral no se obtiene usando una frecuencia de salto muy alta sino usando un conjunto de frecuencias de salto (*hop-set*) grande, el tiempo de salto será mucho mayor que el tiempo de chip de un sistema DS-CDMA. Así, un sistema FH-CDMA permite un error de sincronización más grande.
- ✓ Las diferentes bandas de frecuencias que una señal FH puede ocupar no necesitan ser contiguas porque podemos hacer un sintetizador de frecuencia fácilmente saltando sobre ciertas partes del espectro. Combinado con la fácil sincronización, esto permite anchos de banda del espectro esparcido mucho más grandes.
- ✓ La probabilidad de que múltiples usuarios transmitan en una misma banda de frecuencia al mismo tiempo es pequeña. Un usuario transmitiendo lejos de la estación base será recibido por ésta, aún cuando los otros usuarios más cercanos a la estación base están transmitiendo al mismo tiempo, pues esos usuarios probablemente estarán transmitiendo a diferentes frecuencias. De este modo, el desempeño del efecto de cercanía/lejanía es mucho mejor que para un sistema de secuencia directa.
- ✓ Debido a que un sistema FH puede emplear un posible ancho de banda mayor, ofrece una mayor posibilidad de reducción de la interferencia de banda angosta en comparación a un sistema de secuencia directa.

Desventajas:

- ✓ Es necesario un sintetizador de frecuencia altamente sofisticado.
- ✓ Un cambio abrupto de la señal cuando se cambia de bandas de frecuencia conducirá a un incremento en

la banda de frecuencia ocupada. Para evitar esto, la señal tiene que ser encendida y apagada cuando la frecuencia cambia.

- ✓ La demodulación coherente es difícil debido a los problemas que se presentan al mantener las relaciones de fase durante los saltos.

2.4.1.3 Salto de Tiempo (TH)

En un sistema CDMA de salto de tiempo (*TH-CDMA*), la señal de datos es transmitida en rápidas ráfagas en intervalos de tiempo determinados por el código asignado al usuario. El eje del tiempo es dividido en tramas, y cada trama está dividida en M ranuras de tiempo. Durante cada trama el usuario transmitirá en una de las M ranuras de tiempo, esta ranura en la cual se transmite depende directamente de la señal de código asignado a cada usuario. Dado que un usuario transmite toda sus datos en una ranura de tiempo, en lugar de M ranuras de tiempo, la frecuencia que éste necesita para su transmisión se ve incrementada con un factor de M . En la figura 2.13 se muestra un diagrama de bloques de un sistema TH-CDMA. La figura 2.13, muestra un esquema tiempo-frecuencia de un sistema TH-CDMA. Comparando la figura 2.14, con la figura 2.11, podemos observar que el sistema TH-CDMA utiliza todo el espectro del ancho de banda por pequeños periodos de tiempo, en lugar de utilizar algunas partes del espectro durante todo el tiempo.

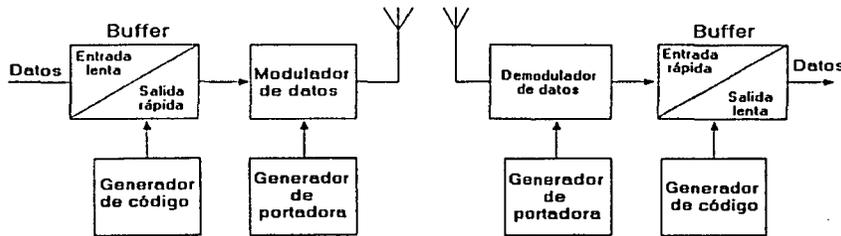


Figura 2.13: Diagrama de un Transmisor y un Receptor del Sistema TH-CDMA.

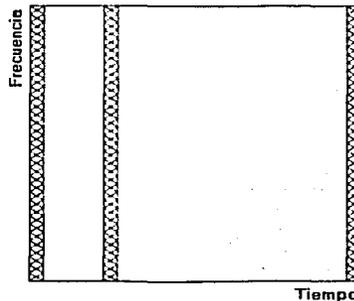


Figura 2.14: Esquema Tiempo/Frecuencia de un sistema TH-CDMA.

Siguiendo el mismo procedimiento que en los esquemas previos de CDMA, discutiremos las propiedades del sistema TH-CDMA.

2.4.1.3.1 Acceso Múltiple

La capacidad de acceso múltiple de las señales TH-SS es adquirida de la misma manera que las señales FH-SS. En el caso de salto de tiempo, todas las transmisiones son en la misma banda de frecuencia, de tal manera que la probabilidad de presentarse más de una transmisión al mismo tiempo debe ser muy pequeña. Esto se logra utilizando diferentes códigos para cada usuario. Si se presentan múltiples transmisiones, los códigos de corrección de errores aseguran que la señal deseada pueda seguir siendo recuperada. Si existe una sincronización entre los usuarios, y los códigos asignados trabajan de tal manera que solo un usuario transmite en una ranura de tiempo específica, el sistema TH-CDMA se reduce a un esquema TDMA, en donde la ranura en la que cada usuario transmite no es fija y cambia de trama en trama.

2.4.1.3.2 Interferencia de Multitrayectoria

En el caso de CDMA de salto de tiempo, una señal es transmitida en un tiempo reducido, lo que conlleva a que la tasa de señalización de la señal se incremente y, por lo tanto, la dispersión de la señal provoque un traslape de los bits adyacentes. Por consiguiente, no se obtiene ninguna ventaja con respecto al rechazo de interferencia de multitrayectoria.

2.4.1.3.3 Interferencia de Banda Angosta

La señal TH-CDMA es transmitida en un tiempo reducido. Esta reducción es igual a $1/G_p$, donde G_p es la ganancia de procesamiento. En el receptor solo recibiremos una señal de interferencia durante la recepción de la señal deseada. Por lo tanto, solo recibiremos a la señal de interferencia con un porcentaje de $1/G_p$ del tiempo, reduciendo a la potencia de interferencia con un factor de G_p .

2.4.1.3.4 Baja Probabilidad de Interferencia (LPI)

Con un sistema TH-CDMA, la frecuencia en la que un usuario transmite es constante pero el tiempo en que el usuario transmite son desconocidos, y las duraciones de las transmisiones son muy cortas. Particularmente cuando múltiples usuarios están transmitiendo, esto hace difícil a un receptor distinguir entre el principio y final de una transmisión, y decidir cuales transmisiones pertenecen a que usuario.

Además de las propiedades ya mencionadas, el sistema TH-CDMA posee otras propiedades específicas que se pueden dividir en ventajas y desventajas:

Ventajas:

- ✓ La implementación es más sencilla que en un sistema FH-CDMA.
- ✓ Éste es un método muy útil cuando el transmisor está limitado en la potencia promedio, pero no lo está para la potencia pico, dado que los datos son transmitidos en pequeñas ráfagas a potencias altas.
- ✓ El problema de cercanía/lejanía es mucho menor, ya que en la mayor parte del tiempo una terminal lejana de la estación base transmite solo, y no es obstaculizada por otras transmisiones de otras estaciones cercanas.

Desventajas:

- ✓ Toma mucho tiempo antes de sincronizar al código, y el tiempo en el cual el receptor debe realizar la sincronización es corto.

- ✓ Si ocurren múltiples transmisiones, un gran número de bits de datos se perderán, por lo que es necesario un robusto código de corrección de errores.

2.4.1.4 Sistemas Híbridos

Los sistemas CDMA híbridos incluyen sistema CDMA que emplean una combinación de 2 o más de las técnicas de modulación de espectro esparcido o una combinación de CDMA con otras técnicas de acceso. Combinando las técnicas básicas de modulación de espectro esparcido, tenemos 4 posibles sistemas híbridos: DS/FH, DS/TH, FH/TH, y DS/FH/TH, y combinando CDMA con TDMA o la modulación multiportadora tenemos otras dos posibilidades: CDMA/TDMA y MC-CDMA.

El objetivo de estos sistemas híbridos es combinar las ventajas de cada una de las técnicas de modulación. Por ejemplo, si tomamos el sistema DS/FH, tendremos la ventaja de antimultitrayectoria propia del sistema DS, combinada con la favorable operación de cercanía-lejanía de un sistema FH. Cabe mencionar que la desventaja de estas técnicas reside en la complejidad de los transmisores y receptores. La figura 2.15, ilustra un diagrama de bloques de un transmisor DS/FH CDMA.

La señal de datos es primeramente esparcida usando una señal de código de secuencia directa. La señal esparcida es posteriormente modulada sobre una portadora cuyos saltos de frecuencia son acorde a otra secuencia de código. Un código de reloj asegura una relación estable entre los dos códigos.

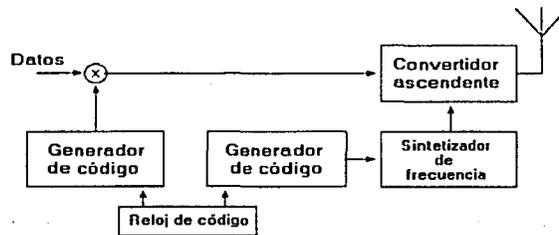


Figura 2.15: Transmisor de un sistema híbrido DS-FH.

2.5 ELEMENTOS BÁSICOS DE CDMA

2.5.1 Receptor RAKE

Una forma de onda de una señal de espectro esparcido se asemeja a un canal multitrayectoria. En un canal multitrayectoria, la señal original transmitida se refleja en los obstáculos tales como edificios y montañas, y el receptor recibe varias copias de la señal con diferentes retardos. Si las señales llegan con más de un chip de diferencia entre sí, el receptor puede trabajar sin problemas. Actualmente, desde el punto de vista de cada señal multitrayectoria, las otras multitrayectorias pueden ser consideradas como interferencia y son suprimidas por el proceso de ganancia. Sin embargo, se puede obtener un mayor beneficio si las señales multitrayectoria son combinadas utilizando un receptor llamado RAKE. Así, la forma de onda de las señales CDMA facilitan la utilización de diversidad de multitrayectoria. Expresando el mismo fenómeno en el dominio de la frecuencia, significa que el ancho de banda de la señal transmitida es mayor que el ancho de banda del coherencia del canal y el canal es selectivo en frecuencia (sólo parte de la señal es afectada por el desvanecimiento).

El receptor RAKE consiste de correlacionadores, cada uno recibiendo una señal de multitrayectoria. Después de ser desesparcidas por los correlacionadores, las señales son combinadas. Debido a que las señales de multitrayectoria recibidas tienen desvanecimientos independientes, el desempeño es mejorado. En la figura 2.16, se ilustra el principio del receptor RAKE.

Después de su esparcimiento y modulación, la señal es transmitida y pasa a través de un canal de multitrayectoria. En la figura 2.16, tenemos tres componentes de multitrayectoria con diferentes retardos (τ_1 , τ_2 , y τ_3) y factores de atenuación (a_1 , a_2 , y a_3), cada uno correspondiente a una diferente trayectoria de propagación. El receptor RAKE tiene un receptor llamado "dedo" (*finger*) digital para cada componente de multitrayectoria. En cada *finger*, la señal recibida es correlacionada por un código esparcimiento, el cual está alineado en el tiempo con el retardo de la señal de multitrayectoria. Después del desesparcimiento, las señales son ponderadas y combinadas. En figura 2.16, cada señal es ponderada por la ganancia de trayectoria (factor de atenuación). Debido al movimiento de la unidad móvil, el entorno de dispersión cambiará, y con esto, también cambiarán los factores de atenuación y los retardos. Debido a lo anterior, es necesaria la medición de los retardos y reasignar los *fingers* cuando sea necesario.

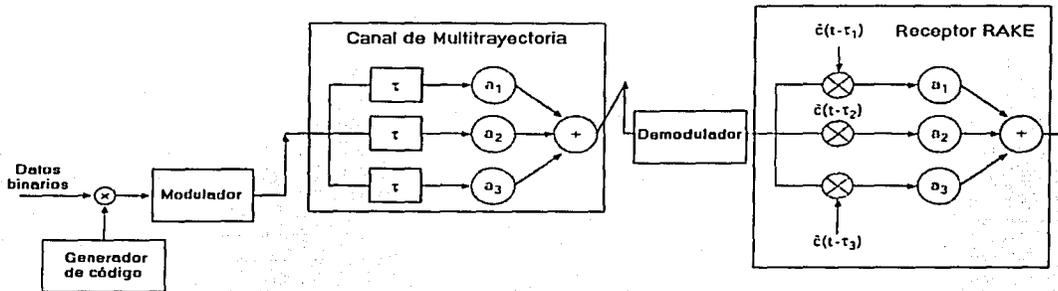


Figura 2.16: Principio de un receptor RAKE.

2.5.2 Control de Potencia

En el enlace ascendente de un sistema CDMA de secuencia directa (DS-CDMA), el control de potencia es la condición más importante. El problema de control de potencia crece debido a la interferencia de acceso múltiple. Todos los usuarios en un sistema DS-CDMA transmiten los mensajes usando el mismo ancho de banda al mismo tiempo, y debido a esto se interfieren entre sí. Debido al mecanismo de propagación, la señal recibida en la estación base de un usuario cercano será más fuerte que la señal de otro usuario alejado de la misma. Así, los usuarios distantes serán dominados por los usuarios cercanos. A esto se le llama el *efecto de cercanía-lejanía* (*near-far*). Para lograr una capacidad considerable, todas las señales, independientemente de la distancia, deben llegar a la estación base con el mismo nivel de potencia. Una solución a este problema es el *control de potencia*, el cual busca tener un nivel de potencia constante para cada usuario. Por consiguiente, el desempeño del control de potencia del transmisor (*TPC*) es uno de varios factores que afectan en la capacidad de un sistema DS-CDMA.

En contraste al enlace ascendente, en el enlace descendente todas las señales se propagan a través del mismo canal y de esta manera son recibidas por una estación móvil con la misma potencia. Debido a esto, no se necesita el control de potencia para eliminar el problema *near-far*. Sin embargo, el control de potencia se requiere para minimizar la interferencia hacia otras células y para compensar la interferencia recibida de otras células. Adicionalmente, el control de potencia mejora el desempeño del sistema DS-CDMA contra el desvanecimiento de canal compensando las caídas de la señal.

Existen dos tipos de principios de control de potencia: (1) de *lazo abierto*, y (2) de *lazo cerrado*. El control de potencia de lazo abierto mide las condiciones de interferencia del canal y ajusta la potencia de acuerdo a la transmisión. Sin embargo, debido a que en los desvanecimientos rápidos no hay correlación entre el enlace ascendente y el descendente, el control de potencia de lazo abierto sólo logrará fijar un promedio de la potencia correcta. Por consiguiente, se requiere un control de potencia de lazo cerrado, ya que éste mide la relación señal-interferencia (*SIR*, *signal-to-interference ratio*), y envía comandos al transmisor para ajustar la potencia de transmisión.

2.5.3 Transferencia de Llamada Suave

En la *transferencia de llamada suave* (*soft handover*) una estación móvil es conectada a más de una estación base simultáneamente. Además, esta transferencia es usada en CDMA para reducir la interferencia entre células y mejorar el desempeño a través de una macro diversidad. Una *transferencia de llamada más suave* (*softer handover*) es una transferencia de llamada suave entre dos sectores de una misma célula.

Normalmente, una estación móvil realiza una transferencia de llamada cuando la intensidad de la señal de una célula vecina excede el nivel de umbral dado por la célula actual. A esto se le llama *transferencia de llamada dura* (*hard handover*). Ya que en un sistema CDMA las frecuencias de las células vecinas son las mismas a la de una célula dada, este tipo de acercamiento podría causar interferencia excesiva en las células vecinas, y así, una degradación de la capacidad. Con el fin de evitar esta interferencia, es requerida una *transferencia de llamada instantánea* de la célula actual a la nueva célula cuando la intensidad de la señal de la nueva célula exceda el nivel de la célula actual. Sin embargo, esto no es factible en la práctica. El mecanismo del *handover* siempre debe permitirle a la estación móvil conectarse a una célula, cuando la vea con un mayor nivel de potencia. Debido a que en el *soft handover* la estación móvil es conectada a dos o más estaciones base, su transmisión de potencia puede ser controlada por la estación base, de la cuál la estación móvil reciba la mayor intensidad de señal. Una estación móvil entra a un estado de *soft handover* cuando la intensidad de la señal de una célula vecina excede un cierto umbral pero aún esta por debajo de la intensidad de la estación base actual.

La estructura de CDMA es apropiado para la implementación del *soft handover*. Esto es debido a que en un enlace ascendente, dos o más estaciones base pueden recibir la misma señal debido a que el factor de reuso es uno; y en el enlace descendente la estación móvil puede combinar coherentemente las señales de estaciones base diferentes, ya que las ve sólo como componentes adicionales de multitrayectoria. Esto ofrece un beneficio adicional llamado *macro diversidad* (es decir, la ganancia de diversidad proporcionada por la recepción de una o más señales adicionales). Usualmente es usado un canal independiente llamado *piloto* con el fin de realizar mediciones de nivel de intensidad de señal y realizar la transferencia de llamada.

Sin embargo, en el enlace descendente el *soft handover* crea más interferencia al sistema debido a que la nueva estación base transmitirá una señal adicional a la estación móvil. Es posible que la estación móvil no reciba toda la energía transmitida por la estación base debido a un número limitado de dedos (*fingers*) del receptor RAKE. De este modo, la ganancia del *soft handover* en el enlace descendente depende de la ganancia de macro diversidad y de las pérdidas de desempeño debido al incremento de la interferencia. En la figura 2.17, se ilustra el principio del *soft handover* con dos estaciones base involucradas.

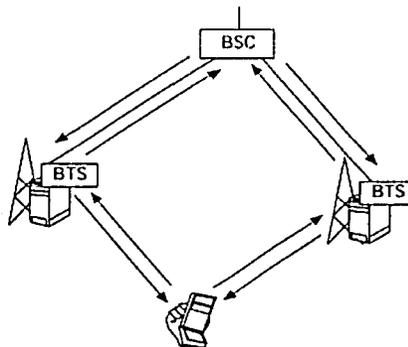


Figura 2.17: Principio del soft handover con dos estaciones base.

En el enlace ascendente, la señal de la estación móvil es recibida por las dos estaciones base, que, después de la demodulación y combinación, pasan la señal al punto combinador, típicamente al *controlador de la estación base* (BSC). En el enlace descendente la misma información es transmitida a ambas estaciones base,

y la estación móvil recibe la información de dos estaciones base como señales de multitrayectoria separadas, por lo que se pueden combinar.

2.5.4 Detección Multiusuario

Los actuales receptores CDMA están basados en el principio del receptor RAKE, el cual considera a las señales de otros usuarios como interferencia. Sin embargo, en un receptor óptimo todas las señales pueden ser detectadas en conjunto, o la interferencia de otras señales puede ser removida substrayéndola de la señal deseada. Esto es posible debido a que son conocidas las propiedades de correlación entre las señales que son conocidas (es decir, la interferencia es determinística no aleatoria).

La capacidad de un sistema CDMA de secuencia directa usando un receptor RAKE es limitada por la interferencia. En la práctica, esto significa que cuando un nuevo usuario, o interferente entra a la red, la calidad de servicio de los demás usuarios caerá por debajo de un nivel aceptable. La mayoría de los usuarios pueden resistir a esta interferencia. La interferencia por acceso múltiple que perturba una estación base o una estación móvil es la suma de la interferencia intracelular e intercelular.

La *detección multiusuario* (MUD), también llamada *detección de conexión y cancelación de interferencia* (IC), ofrece un medio para reducir la interferencia de acceso múltiple, incrementando por lo tanto la capacidad del sistema. En primer lugar, la MUD es considerada sólo para la interferencia intracelular, lo que significa que en un sistema práctico la capacidad será limitada por la eficiencia del algoritmo y la interferencia intercelular.

Adicionalmente, al mejorar la capacidad, la MUD ayuda a disminuir el problema cercano-lejano típico de los sistemas DS-CDMA. Una estación móvil cercana a una estación base puede bloquear todo el tráfico de la célula usando una potencia de transmisión muy alta. Si este usuario es detectado primero y se reduce la potencia de la señal de entrada, los otros usuarios no verán la interferencia.

Dado que una óptima detección multiusuario es muy compleja y en práctica imposible de implementar para un número razonable de usuarios, se ha desarrollado un número de receptores multiusuarios subóptimos y receptores de cancelación de interferencia. Los receptores subóptimos pueden ser divididos en dos categorías principales: *detectores lineales* y *canceladores de interferencia*. Los detectores lineales aplican una transformación lineal a las salidas de los filtros igualadores (*matched*), los cuales tratan de remover la interferencia de acceso múltiple (es decir, la interferencia debida a las correlaciones entre los códigos de los usuarios). En el detector de cancelación de interferencia, primero estima la interferencia de acceso múltiple y después se substraer de la señal recibida.

2.6 VENTAJAS DE CDMA

Los sistemas CDMA proveen a los operadores y suscriptores con ventajas importantes sobre TDMA analógico y convencional. Las ventajas principales de CDMA son como se indica a continuación:

2.6.1 Beneficios a los usuarios

2.6.1.1 Calidad excepcional de voz y comunicación

CDMA provee calidad superior de voz, considerada virtualmente tan buena como la de línea alámbrica. También filtra los ruidos de fondo, cruces de llamadas, e interferencia, mejorando grandemente la privacidad y calidad de la llamada.

2.6.1.2 Menor consumo de energía

Los teléfonos de CDMA típicamente transmiten con fuentes de energía substancialmente menores que los te-

léfonos que utilizan otras tecnologías, resultando en una vida más larga para las pilas, lo que redundaría en una mayor disponibilidad de tiempo para llamadas y tiempo de espera. Porque se utilizan pilas más pequeñas, los fabricantes pueden también fabricar teléfonos más pequeños y ligeros.

2.6.1.3 Menos llamadas interrumpidas

CDMA aumenta la capacidad del sistema, eliminando virtualmente señales de ocupado, cruces de llamadas, y llamadas interrumpidas que resultan de la congestión del sistema. Utilizando un sistema patentado de pasar llamadas entre celdas conocido como transferencia de llamadas "soft handoff", CDMA también reduce significativamente la posibilidad de llamadas alteradas o interrumpidas durante el traslado de llamadas.

2.6.1.4 Más extensa cobertura

La señal de espectro amplio de CDMA provee mayor cobertura que otras tecnologías inalámbricas, tanto dentro de locales como al aire libre. CDMA también interacciona con otras formas de sistemas de telecomunicación, permitiendo amplias y fluidas coberturas y conexiones.

2.6.1.5 Seguridad y privacidad

Además de filtrar el cruce de llamadas y ruidos de fondo, las transmisiones de espectro amplio y codificadas digitalmente de CDMA son intrínsecamente resistentes a la intrusión. La codificación de voz de CDMA también evita la clonación (*cloning*) y otros tipos de fraude.

2.6.1.6 Mejoras en los servicios

El canal de control digital de CDMA permite a los usuarios el acceso a una amplia gama de servicios que incluyen identificación del que llama, mensajes cortos y transmisión de datos. CDMA también permite la transmisión simultánea de voz y datos.

2.6.2 Beneficios a los Proveedores de Servicio

2.6.2.1 Mayor capacidad

CDMA provee de 10 a 20 veces la capacidad de las tecnologías análogas inalámbricas, y más de tres veces la capacidad de otras tecnologías digitales; lo que permite a los proveedores de servicios apoyar más suscriptores y en mayores volúmenes tráfico inalámbrico en una porción limitada del espectro de frecuencias de radio. Debido al rápido crecimiento del número de suscriptores del servicio inalámbrico y los minutos de uso, la capacidad es un problema crítico.

2.6.2.2 Cobertura más amplia

Con su alcance superior y las características de funcionamiento de su señal, CDMA mejora la cobertura al aire libre y bajo techo. Las redes CDMA requieren solamente una fracción de los asentamientos de celdas que necesitan otras tecnologías inalámbricas para cubrir un área dada. Con menos asentamientos de celdas, los proveedores de servicio pueden reducir su inversión inicial de capital así como también sus costos corrientes de operación y mantenimiento.

2.6.2.3 Flexibilidad

CDMA es la única tecnología inalámbrica que apoya con efectividad tanto los servicios fijos como móviles

desde la misma plataforma, dando apoyo a dos fuentes de ingreso y a la vez permite a los proveedores de servicio el ofrecer a sus clientes un servicio fluido de "un solo teléfono." Las redes de CDMA también cuestan menos en diseño e ingeniería que otros tipos de sistemas inalámbricos, haciéndolos más fáciles de reconfigurar y expandir.

2.6.2.4 Implementación rápida

Los sistemas CDMA pueden ser implementados y expandidos más rápidamente, y con mayor costo-efectividad que la mayoría de las redes de líneas alámbricas. Y porque requiere menos celdas y espacio de celdas, las redes CDMA pueden instalarse más rápidamente que cualquier otro tipo de red inalámbrica.

2.6.2.5 Interacción en las operaciones

CDMA interacciona con AMPS (Sistema Avanzado de Telefonía Móvil, la base de la mayoría de las redes de teléfonos celulares análogos), con redes de telefonía IS-41 y pronto con redes GSM/MAP, que permiten amplia cobertura y conexión, además de permitir a los operadores apoyarse en su equipo.

2.6.2.6 Calidad de servicio

La superior calidad de la voz en CDMA y mayores servicios que incluyen datos inalámbricos, dan a los proveedores de servicio una clara ventaja sobre la competencia para ganar y conservar clientes.

2.6.2.7 Selección

Con una amplia base de apoyo de fabricantes líderes en telecomunicaciones en el mundo entero y con un aumento de los ahorros de volumen, los proveedores de servicios pueden elegir entre una amplia gama de productos de CDMA avanzados y de costo competitivo.

2.6.2.8 Mejoras continuadas

Reconocida ya como la tecnología inalámbrica digital más avanzada, IS-95 CDMA (cdmaOne) está siendo mejorada más aún para apoyar nuevas características y servicios tales como la alta velocidad de datos. Al implementar cdmaOne, los proveedores de servicios pueden estar seguros de un camino de transición sin problemas con apoyo en sus inversiones en IS-95.

CAPÍTULO 3

El Sistema TIA IS-95 o CDMAOne

3.1 INTRODUCCIÓN

CdmaOne es un nombre comercial de marca registrada (por el grupo de desarrollo de CDMA, CDG), que engloba a los sistemas CDMA basados en el estándar IS-95, éste término representa el sistema inalámbrico completo y sus especificaciones (por ejemplo, interfaces de aire, interfaces de red, etc.). Las redes que utilizan el protocolo de red ANSI-41 (ó IS-41) y la interfaz IS-95 se marcan como redes "cdmaOne". El primer lanzamiento comercial de una red cdmaOne se llevó a cabo en Hong Kong en septiembre de 1995. En la actualidad hay más de 50 millones de abonados cdmaOne por todo el mundo. La tecnología cdmaOne se utiliza en diferentes servicios de las telecomunicaciones, siendo las más sobresalientes telefonía celular, PCS, comunicaciones fijas, así como comunicaciones por satélite. IS-95 fue publicada por primera vez en Julio de 1993.

Los requerimientos técnicos especificados en la norma IS-95 definen un estándar compatible para los servicios móviles celulares de banda ancha que utilizan espectro esparcido, esto asegura que una estación móvil podrá obtener servicio en cualquier sistema celular construido de acuerdo en este estándar. Esta tecnología utiliza espectro esparcido, con lo cual codifica y esparce todas las conversaciones a través de una banda ancha en el espectro (1.25 MHz). Este esquema permite a un gran número de usuarios compartir simultáneamente la misma portadora de 1.25 MHz. En la tabla 3.1 se resumen algunos de los estándares más importantes relacionados con cdmaOne:

Tabla 3.1: Estándares relacionados con cdmaOne.

Estándar CDMA	Norma	Descripción
Interfaz de Aire	TIA/EIA/IS - 95-A ANSI J - STD - 008	Celular PCS
Red	TIA/EIA/IS - 634 TIA/EIA/IS/651 TIA/EIA/IS - 41 TIA/EIA/IS - 124	MAS - BS PCSC - RS Operación entre sistemas Señalización
Servicio	TIA/EIA/IS - 96 - B TIA/EIA/IS - 99 TIA/EIA/IS - 637 TIA/EIA/IS - 657	Codificación de voz Asinc. de info. y fax Mensajes cortos Empaquetado de info.
Desempeño	TIA/EIA/IS - 97 TIA/EIA/IS - 98 ANSI J - STD - 018 ANSI J - STD - 019 TIA/EIA/IS - 125	Estación Base celular Estación móvil celular Estación personal PCS Estación base PCS Codificación de voz

IS-95 describe la generación de los canales, control de potencia, proceso de llamada, handoffs, y técnicas de

registro para la operación de sistemas celulares. Estas características se describen a continuación.

3.2 ARQUITECTURA DEL MODELO DE REFERENCIA TR - 46

TR-46 es un Comité que esta bajo el control de la TIA y es responsable de los servicios y protocolos para el Sistema de Comunicaciones Personales (PCS). El modelo de referencia TR-46, sólo soporta la movilidad terminal. Por otra parte, las interfaces de aire que se emplean en este modelo están basadas en el protocolo de comunicaciones de intersistemas IS-41.

IS-41 es una norma de red que permite a todos los conmutadores intercambiar información sobre los abonados.

A continuación, se describen los principales elementos del modelo de referencia TR-46:

3.2.1 Estación Personal (PS) o estación móvil (MS)

En esta se concluye la trayectoria del enlace de radio en el lado del usuario y, además, le permite al usuario acceder a los servicios de la red. La PS puede ser el único dispositivo o puede tener otros dispositivos (por ejemplo, computadoras personales, máquinas de facsímil) conectados a él.

3.2.2 Sistema de Radio (RS)

Regularmente se le conoce como *estación base* (BS), en esta se termina la trayectoria del enlace de radio entre la estación móvil, y permite realizar las conexiones a la central de conmutación de comunicaciones personales. La RS se divide a menudo en el sistema transeptor base y el controlador de estación base:

Sistema Transeptor Base (BTS): consiste de uno o más transeptores colocados en un solo lugar, además, en este se termina la trayectoria del enlace de radio en el lado de la red. El BTS puede ser colocado con un controlador de estación base o puede ser localizado independientemente.

Controlador de Estación Base (BSC): representa el sistema de control y de administración para uno o más BTSs. El BSC intercambia mensajes con el BTS y la central de conmutación de comunicaciones personales. Algunos mensajes de la señalización pueden atravesar el BSC sin cambio alguno.

3.2.3 Central de Conmutación de Comunicaciones Personales (PCSC)

Es un sistema automático que une el tráfico del usuario de la red inalámbrica a la red fija u otras redes inalámbricas.

3.2.4 Registro de Ubicación Local (HLR)

Es una base de datos residente en una red inalámbrica local que corrobora la identidad de un abonado local. Dentro de la información que incluye esta base de datos se encuentra: el Número de Serie Electrónico (ESN), el Número Directorio (DN), la Identidad del Subscriptor Móvil Internacional (IMSI), el perfil del usuario, ubicación actual. El HLR puede ser colocado con una PCSC, en una parte íntegra de la PCSC o independiente de la PCSC. Un HLR puede servir a múltiples PCSCs, o puede ser distribuida sobre múltiples ubicaciones.

3.2.5 Negociador de Mensajes de datos (DMH)

Es usado para la facturación, y proporciona un medio de intercambio de lenguaje y tasa los datos a través de las jurisdicciones.

Las interfaces siguientes se definen entre varios elementos del sistema:

- ✓ **RS a PCSC (Interfaz A):** la interfaz entre el RS y la PCSC soporta señalización y tráfico (de voz y datos). Se han definido protocolos de la interfaz A usando SS7, ISDN BRI/PRI, y transmisión de tramas.
- ✓ La interfaz de **BTS a BSC (A-bis):** Si la RS se segmenta en un BTS y BSC, esta interfaz interior es definida.
- ✓ La interfaz de **PCSC a PSTN (Ai):** Esta interfaz se define como una interfaz analógica que usa cualquier señalización de Tono Dual de Multifrecuencia (*DTMF*) o señalización de Multifrecuencia.
- ✓ **PCSC a VLR (Interfaz B):** Esta interfaz se define en la especificación protocolar TIA IS-41.
- ✓ **PCSC a HLR (Interfaz C):** Esta interfaz se define en la especificación protocolar TIA IS-41.
- ✓ **HLR a VLR (Interfaz D):** Esta es una interfaz de señalización entre un HLR y un VLR, y esta basada en SS7. Se define actualmente en la especificación protocolar TIA IS-41.
- ✓ **PCSC a ISDN (Interfaz Di):** Es la interfaz digital a la red telefónica pública, es una interfaz T1 (24 canales de 64 Kbs) y usa señalización Q.931.
- ✓ **PCSC a PCSC (Interfaz E):** Esta es una interfaz de tráfico y de señalización entre las redes inalámbricas. Se define actualmente en la especificación protocolar TIA IS-41.
- ✓ **PSCS a EIR (Interfaz F):** El protocolo para esta interfaz no se define.
- ✓ **VLR a VLR (Interfaz G):** Se usa esta interfaz cuando se necesita establecer comunicación entre VLRs. Esta interfaz es definida por TIA IS-41.
- ✓ **HLR a AC (Interfaz H):** El protocolo para esta interfaz no se define.
- ✓ **DMH a PCSC (Interfaz I):** Esta interfaz engloba un modelo de referencia de red que es definido por la TIA/EIA en IS-124. Este modelo de red esta representado por cuatro entidades funcionales básicas: 1) Fuente de información de detalle de llamada (*CDIS*); 2) Punto de generación de detalle de llamada (*CDGP*); 3) Punto de tasa de detalle de llamada (*CDRP*); y 4) Punto de colección de detalle de llamada (*CDCP*).
- ✓ **PCSC a IWF (Interfaz L)** Esta interfaz es definida por el IWF.
- ✓ **PCSC a PLMN (Interfaz M_i):** Esta interfaz es para otra red inalámbrica.
- ✓ **PCSC a OS (Interfaz O):** Esta es la interfaz para el sistema de operaciones. Actualmente, esta siendo definida en la norma TIM1 en ATSI.
- ✓ **PCSC a PSPDN (Interfaz Pi):** Esta interfaz es definida por la red de paquetes (*network packet*) que se conecta a la PCSC.
- ✓ **Adaptador Terminal (TA) a Equipo Terminal (TE) (Interfaz R):** Estas interfaces serán específicas para cada tipo de terminal que se conectará a una PS.

- ✓ **ISDN a TE** (Interfaz S): Esta interfaz está fuera del alcance del PCS y se define dentro del sistema de la ISDN.
- ✓ **RS a PS** (Interfaz U_m): Esta es la interfaz de aire.
- ✓ **PSTN a Equipo de Comunicación de Datos (DCE)** (Interfaz W): Esta interfaz está fuera del alcance del PCS y se define dentro del sistema de la PSTN.
- ✓ **PCSC a Auxiliar (AUX)** (Interfaz X): Esta interfaz depende del equipo auxiliar conectado a la PCSC.

3.3 INTERFAZ DE AIRE IS-95

3.3.1 Estructura del Enlace

El sistema CDMA IS-95 es único, ya que sus enlaces de bajada y subida tienen diferentes estructuras. Un enlace es la vía de comunicación entre el elemento móvil y la estación base. Esta diferencia o asimetría en los enlaces mejora las necesidades de un sistema de comunicaciones tierra-móvil.

En el caso de un sistema celular se definen dos enlaces de comunicación básicos. Tomando como referencia a la estación base, se dice que el enlace que va de dicha estación hacia la estación móvil, se llama enlace de bajada (*forward o downlink*). Y el enlace que va de la estación móvil a la estación base se le llama enlace de subida (*reverse o uplink*).

Dentro de cada enlace existen elementos de comunicación llamados canales. Estos canales se definen como una ráfaga de datos codificados designados para el uso del móvil.

El enlace de bajada tiene cuatro tipos de canales: piloto, sincronización, búsqueda o voceo, y tráfico. Por cada enlace de bajada hay un canal piloto, un canal de sincronización, hasta siete canales de voceo, y los restantes, según la capacidad de la radio base, son canales de tráfico. Cada uno de estos canales del enlace de bajada se esparce primero de forma ortogonal por la función de Walsh que le corresponde, y después se esparce por un par de secuencias en cuadratura cortas PN. Todos los canales se agregan juntos para formar la señal compuesta de espectro esparcido (SS) que será transmitida en el enlace de bajada.

El enlace de subida consiste en dos tipos de canales: canales de acceso y de tráfico. Cada uno de estos canales del enlace de subida se esparcen ortogonalmente por una única secuencia llamada PN larga. Cada canal se identifica usando un código PN largo distinto.

3.3.1.1 Enlace de Bajada

El sistema CDMA IS-95 usa una matriz 64x64 para generar 64 funciones Walsh que son ortogonales entre ellas, y cada uno de los canales lógicos en el enlace de bajada se puede identificar por la función Walsh que tiene asignada. Ahora se estudiarán los canales lógicos.

3.3.1.1.1 Canal Piloto

El canal piloto se transmite constantemente como un faro. El móvil usa la señal del piloto para adquirir el sistema. Después de que el móvil ha adquirido el sistema piloto se usa para medir la intensidad de la señal. La intensidad del piloto se utiliza para determinar la potencia requerida para la transmisión del móvil. El canal piloto no contiene información pero es la señal más potente en el enlace de bajada, esta contiene por lo menos un 20% del total de la potencia del enlace de bajada.

El canal piloto se identifica por la función Walsh 0 (w_0). El canal en si no contiene información de banda base. La secuencia de banda base es una cadena de 0s que se esparcen por la función Walsh 0, la cuál es también una secuencia de 0s. La secuencia resultante (aún todos 0s) se esparce o multiplica, por un par de secuencias en cuadratura PN.

Por esto, el canal piloto es efectivamente la secuencia PN por si misma (ver figura 3.3). La secuencia PN con un offset específico únicamente identifica el sector particular que esta transmitiendo la señal. Después del esparcimiento PN se usan filtros en banda base para moldear los pulsos digitales. El canal piloto provee al móvil la referencia de tiempo y fase, y transmite una tasa de 19.2 Kbps.

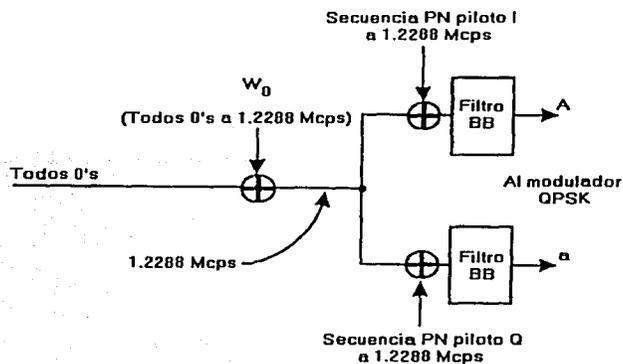


Figura 3.3: Canal Piloto.

3.3.1.1.2 Canal de Sincronización

A diferencia del canal piloto, el canal de sincronización transmite la información en banda base. La información esta contenida en el mensaje del canal de sincronía (*sync channel message*) que notifica al móvil de información importante acerca de la sincronización del sistema y parámetros del mismo. La figura 3.4 muestra que la información en banda base se protege contra error. Entonces, se esparce con la función Walsh 32 y enseguida con la secuencia PN que se identifica con el sector que está sirviendo. La información en banda base se encuentra a una tasa de 1.2 Kbps.

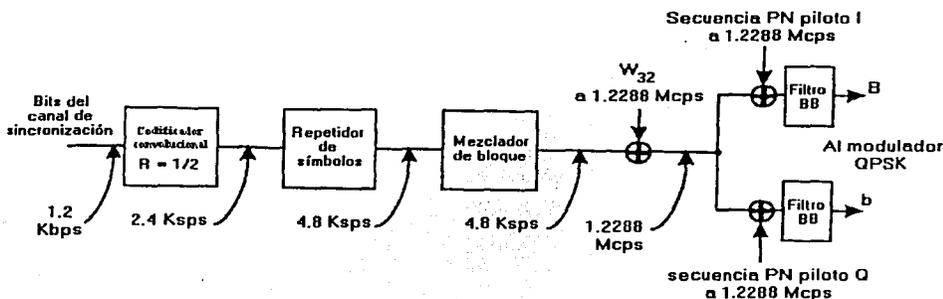


Figura 3.4: Canal de Sincronización.

Al nivel de bit, el canal de sincronización se transmite en grupos de supertramas de canal de sincronía (*sync channel superframes*), cada supertrama contiene 96 bits y dura 90 ms, resultando una tasa de 1200 bps. Cada supertrama contiene tres tramas de canal de sincronía de igual longitud y duración. Cada trama del canal de sincronización se alinea con la secuencia PN corta asociada con el sector que transmite. Cada período de la secuencia PN corta esta sincronizada con cada trama de canal de sincronización. Por esto, una vez que el móvil adquiere la sincronización del canal piloto, se conoce la alineación para el canal de sincronización.

Una vez que el móvil logra alinearse con el canal de sincronización, el móvil puede comenzar a leer el mensaje de este canal. Finalmente, una vez que el móvil está sincronizado con la estación base se ignora el canal de sincronización.

3.3.1.1.3 Canal de Búsqueda

Similar al canal de sincronía, el canal de búsqueda (o voice) también transmite información en banda base. Pero a diferencia del canal de sincronía, el canal de voice transmite a tasas más altas; este puede transmitir ya sea a 4.8 o 9.6 Kbps.

Como se muestra en la figura 3.5, la información en banda base primero se protege contra error, entonces si la tasa de datos es 4.8 Kbps, los bits se repiten una vez. Los datos se mezclan primero por una secuencia larga PN, y entonces se esparcen por una función de Walsh específica asignada al canal de voice y después esparcida por la secuencia corta PN asignada al sector que está sirviendo. También nótese de la figura 3.5 que el código largo PN sostiene una tasa de 64:1 (por ejemplo de 1.2288 Mcps a 19.2 Kbps). El generador de código largo por sí mismo se enmascara con un número de canal de búsqueda único. Por lo tanto, la máscara de código largo que se usa para el canal de 'búsqueda 1' (esparcido por una función Walsh 1) es diferente al que utiliza el canal de 'búsqueda 3' (esparcido por una función Walsh 3), por ejemplo.

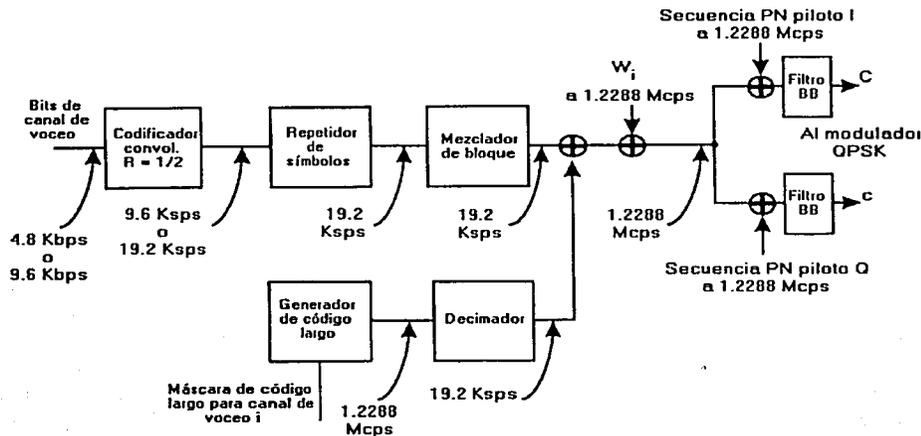


Figura 3.5: Canal de Voceo (o búsqueda).

El canal de búsqueda está dividido en ranuras de 80 ms. A un grupo de 2048 ranuras se le llama un ciclo de ranura máximo (*maximum slot cycle*). Una ranura de 80 ms se divide en cuatro tramas de canal de búsqueda, y cada trama del canal está dividida en dos medias tramas. El primer bit de cada trama media se llama el *indicador de cápsula sincronizada* o SCI.

Los mensajes de señalización y búsqueda se envían en el canal de búsqueda. La información de señalización se utiliza para notificar al móvil parámetros de configuración importantes del sistema. Algunos ejemplos de mensajes de señalización son el mensaje de parámetros del sistema, mensaje de parámetros de acceso, y el mensaje de lista de vecinos.

3.3.1.1.4 Canal de Tráfico

El canal de tráfico de bajada se usa para transmitir datos y voz del usuario, los mensajes de señalización también se envían sobre este canal. La estructura del canal de tráfico de bajada es similar al del canal de búsqueda.

La única diferencia es que el canal de tráfico de bajada contiene Bits de Control de Potencia o PCBs (*Power Control Bits*) multiplexados. La figura 3.6 muestra el canal de tráfico de bajada para el conjunto de tasa 1 (*Rate Set 1*). Para esta tasa de transmisión, el codificador de voz (vocoder) es capaz de variar de su tasa de datos de salida en respuesta a las actividades del habla. Cuatro diferentes tasas de datos son soportadas: 9.6, 4.8, 2.4, y 1.2 Kbps. Por ejemplo, durante los períodos cortos de la conversación, el codificador de voz puede elegir el código de conversación a la tasa más baja de 1.2 Kbps.

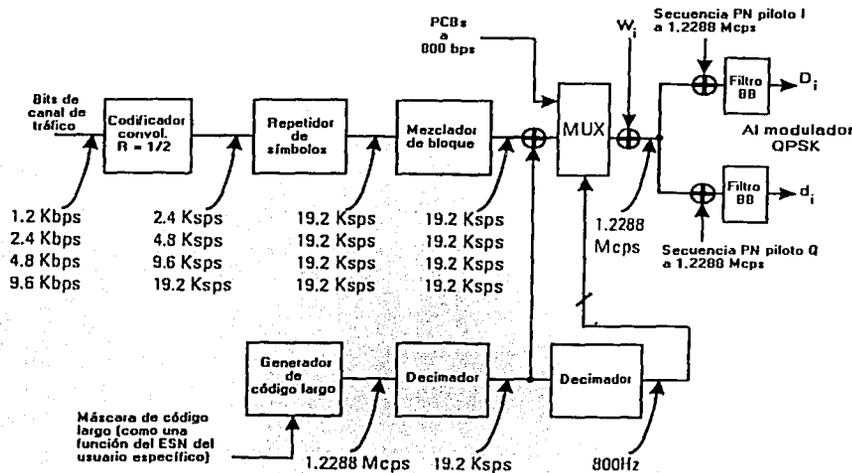


Figura 3.6: Canal de Tráfico directo para el conjunto de tasa 1.

La tasa en banda base del codificador de voz se codifica por medio de convolución para protección de errores. Para el conjunto de tasa 1, se usa un codificador convolucional de tasa $\frac{1}{2}$. La codificación efectivamente duplica la tasa de datos. Después del codificador convolucional, los datos sostienen una repetición de símbolos, que repite los símbolos cuando el codificador de voz produce los datos a una tasa más baja.

- Cuando la tasa de datos es 9.6 Kbps, la tasa de símbolos de código (a la salida del codificador convolucional) es 19.2 Ksps (*kilosímbolos por segundo*). En este caso, no se implementa la repetición.
- Cuando la tasa de datos es 4.8 Kbps, la tasa de símbolos del código es 9.6 Ksps. Se repite cada símbolo una vez, logrando una tasa de símbolo de modulación final de 19.2 Ksps.
- Cuando la tasa de datos es 2.4 Kbps, la tasa de símbolos del código es 4.8 Ksps. Se repite cada símbolo tres veces, logrando una tasa de símbolo de modulación de 19.2 Ksps.
- Cuando la tasa de datos es de 1.2 Kbps, la tasa de símbolos del código es 2.4 Ksps; cada símbolo se repite siete veces, logrando una tasa de símbolo de modulación de 19.2 Ksps.

La razón para la repetición de símbolos es el reducir la potencia de interferencia en un tiempo dado cuando los datos son transmitidos a una tasa más baja.

En un sistema real CDMA, cuando el codificador de voz está transmitiendo a 4.8 Kbps, la energía por símbolo transmitida es la mitad de 9.6 Kbps. Cuando el codificador de voz está transmitiendo a 2.4 Kbps, la energía por símbolo es una cuarta parte de 9.6 Kbps, y cuando el codificador de voz está transmitiendo a 1.2 Kbps, la energía por símbolo transmitida es un octavo de 9.6 Kbps.

Después de la repetición de símbolos, los datos se mezclan para combatir el desvanecimiento, entonces los datos mezclados se revuelven mediante una secuencia PN larga. La secuencia PN larga se produce mediante

un generador de códigos PN largos. El generador saca una secuencia PN larga a 1.2288 Mcps. Como la tasa de datos a la salida del mezclador es 19.2 Ksps, la secuencia PN se convierte a una tasa de 64:1 para también lograr los 19.2 Kcps; la secuencia PN larga a 19.2 Kcps se multiplica por la cadena de datos de 19.2 Ksps. El generador de códigos largos produce la secuencia PN larga usando una máscara que es específica al móvil. En realidad, la máscara es una *función del número de serie electrónico* o ESN del móvil.

Los PCBs a 800 bps se multiplexan con la cadena de datos mezclados a 19.2 Ksps. Es importante reconocer que la localización exacta del PCB en el Grupo de Control de Potencia (*PCG*) no es fija, pero esta determinada de una manera pseudo aleatoria.

Hasta este punto, la función de Walsh asignada esparce de manera ortogonal la cadena de datos multiplexados (aún a 19.2 Ksps). Cada canal de tráfico de bajada se identifica por su función de Walsh asignada. La función de Walsh esparcida tiene entonces una tasa de 1.2288 Mcps; cada símbolo es esparcido por un factor de 64, y el resultado es una cadena de datos esparcidos a una tasa de 1.2288 Mcps.

La cadena de datos se esparce después por la secuencia PN corta asignada del sector transmitiendo. La secuencia PN corta provee una segunda capa de aislamiento que distingue entre los diferentes sectores transmitiendo. De esta forma, todas las 64 funciones de Walsh disponibles se pueden rehusar en cada sector. Hay que recordar que los *offsets* de PN caracterizan cada secuencia corta PN única.

La estructura del canal de tráfico de bajada es similar para el conjunto de tasa 2 (*Rate Set 2*). El codificador de voz para el conjunto de tasa 2 codifica al habla a tasas más altas, y este entrega una mejor calidad de voz que la del conjunto de tasa 1. El codificador de voz del conjunto de tasa 2 soporta cuatro tasas variables: 14.4, 7.2, 3.6, y 1.8 Kbps.

3.3.1.1.5 *Modulador*

La salida de los canales lógicos es la que alimenta el modulador. La ganancia de cada canal lógico, incluye el canal piloto, el canal de sincronización, el canal de voiceo, y todos los canales de tráfico, se ajusta primero mediante la función de control de ganancia. La ganancia de cada canal establece cuanta potencia se puede transmitir por cada canal. Las ganancias para los canales de tráfico individuales están cambiando dinámicamente.

Ya que las ganancias de los canales se ajustan, las señales se suman coherentemente para formar la señal compuesta de espectro esparcido. Después de la suma, las trayectorias I y Q se convierten por sus respectivas portadoras. Las señales convertidas se suman para formar la señal QPSK pasobanda final.

3.3.1.2 *Enlace de Subida*

El enlace de subida soporta dos tipos de canales lógicos: canales de acceso y canales de tráfico. Debido a la naturaleza no coherente del enlace de subida, las funciones de Walsh no se usan para la canalización. Para distinguir a los usuarios en vez de las funciones de Walsh se usan las secuencias PN largas.

3.3.1.2.1 *Canal de Acceso*

El móvil usa el canal de acceso para comunicarse con la estación base cuando este no tiene asignado un canal de tráfico. El móvil usa este canal para realizar la "iniciación" de llamadas y responder a búsquedas (*pages*) y ordenes. La tasa de datos en banda base del canal de acceso esta fija a 4.8 Kbps.

Como se muestra en la figura 3.7, la información en banda base se protege primero contra error con un codificador convolucional $R=1/3$. La tasa de codificación más baja hace la protección contra error más robusta en el enlace de subida, el cual es el más débil de los dos enlaces. La función de repetición de símbolos repite el símbolo una vez, logrando una tasa de símbolo de código de 28.8 Kbps. La tasa se mezcla para combatir el desvanecimiento.

Después de la mezcla, se codifican los datos por un modulador ortogonal 64. Se usa el conjunto de funciones de Walsh 64, pero aquí las funciones de Walsh se usan para modular, o representar, grupos de seis símbolos.

La razón de la modulación ortogonal de símbolos se debe nuevamente a la naturaleza no coherente del enlace de subida. Cuando una transmisión de usuario es no coherente, el receptor (en la estación base) aún puede detectar cada símbolo correctamente. El tomar una decisión de si un símbolo es +1 o -1 puede ser difícil durante un periodo de símbolo.

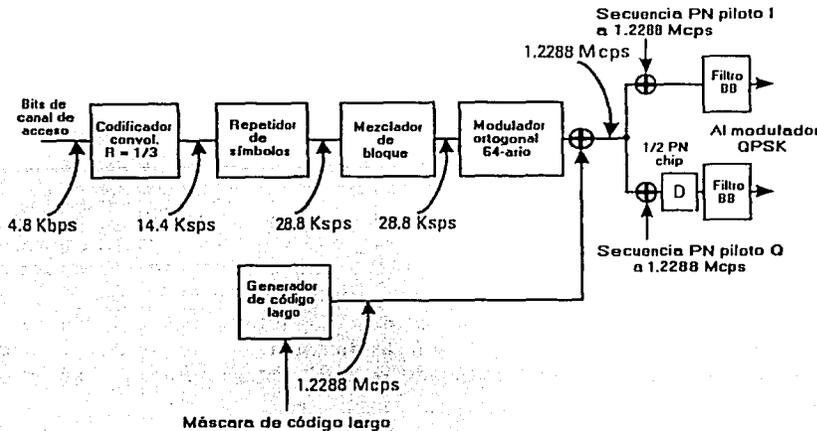


Figura 3.7: Canal de Acceso.

Sin embargo, si un grupo de seis símbolos se representa por una única función de Walsh, entonces la estación base puede fácilmente detectar seis símbolos en un tiempo al decidir cual función de Walsh se envió durante ese período. El receptor puede decidir fácilmente que función de Walsh se envió a correlacionar la secuencia que recibió con el conjunto de las 64 funciones de Walsh conocidas. En el enlace de bajada, las funciones de Walsh se usan para distinguir entre los diferentes canales. En el enlace de subida, las funciones de Walsh se usan para distinguir entre los diferentes símbolos (o entre grupos de seis símbolos).

El grupo de seis símbolos binarios corresponde a un valor decimal entre 0 y 63. El patrón del grupo de seis símbolos establece que función de Walsh (0 a 63) se usa para representar ese grupo de seis símbolos.

Los datos modulados ortogonalmente a 4.8 Ksps (símbolos modulados) o a 307.2 Ksps (símbolos de código) se esparcen entonces por la secuencia PN larga. La secuencia PN larga está corriendo a 1.2288 Mcps, y el ancho de banda de los datos después del esparcimiento es 1.2288 Mcps. Recuerde que la secuencia PN larga se usa para distinguir el canal de acceso de todos los otros canales que ocupan el enlace de subida.

Los datos se revuelven después en las trayectorias I y Q por las secuencias PN cortas (también corriendo a 1.2288 Mcps) definidas en el estándar IS-95. Debido a que el enlace de subida usa Modulación en Cuadratura por Cambio de Fase con Retraso (OQPSK), los datos en la trayectoria Q están retrasados por una mitad de *chip* PN. El propósito principal de este retraso de chip es asegurar que la envolvente de la señal QPSK no se colapse a cero. Esta propiedad es importante porque el amplificador de potencia del móvil es típicamente pequeño y limitado en desempeño. Si el amplificador permanece lineal sobre un rango dinámico pequeño se puede asegurar que la envolvente de la señal nunca alcance el cero y siempre permanezca sobre un cierto nivel.

Finalmente, los mensajes que se envían en el canal de acceso son dos: *un mensaje respuesta* (en respuesta a un mensaje de la estación base) o *un mensaje de petición* (enviado por la estación móvil). Dichos mensajes, así como cualquier otra información en el canal de acceso se transmite por medio de ranuras que componen tramas.

3.3.1.2.2 Canal de Tráfico

El canal de tráfico de subida se usa para transmitir datos y voz del usuario. Los datos modulados ortogonalmente se alimentan en el transformador de tramas de datos aleatorios (*data burst randomizer*). La función del transformador de tramas de datos aleatorios es tomar ventaja del factor de actividad de la voz en el enlace de subida. Recordemos que el enlace de bajada usa un esquema diferente para tomar ventaja del factor de actividad de la voz – cuando el codificador de voz esta operando a una tasa más baja, el enlace de bajada transmite los símbolos repetidos a una energía reducida por símbolo y por eso se reduce la potencia del enlace de bajada durante cualquier período dado.

El esquema descrito para el enlace de bajada es inadecuado para el enlace de subida. La razón es que el requerimiento de velocidad del control de potencia es mucho más exigente en el enlace de subida. La estación base mide el E_b/N_0 (una cantidad que se mide rápidamente) en el enlace de subida, entonces la estación base inmediatamente hace una decisión de control de potencia y envía un PCB de regreso al móvil. La estación base necesita detectar rápidamente cada símbolo, aún cuando el codificador de voz está operando a una tasa más baja, y la estación base no puede esperar al integrador para acumular energía sobre un período grande de tiempo.

La finalidad de llevar a cabo una aproximación para reducir la potencia en el enlace de subida durante períodos de calma en la conversación es para enmascarar seudo aleatoriamente los símbolos redundantes que se producen por la repetición de símbolos. Esto lo efectúa el transformador de tramas de datos aleatorios. El transformador de tramas de datos aleatorios genera un patrón enmascarado de 0s y 1s que aleatoriamente enmascaran los datos redundantes. El patrón de enmascaramiento es parcialmente determinado por la tasa del codificador de voz. Si el codificador de voz esta operando a 9.6 Kbps, entonces los datos no se enmascaran. Por otra parte, si esta operando a 1.2 Kbps, entonces los símbolos se repiten siete veces, y el transformador de tramas de datos aleatorios enmascara, en promedio, siete de ocho grupos de símbolos.

3.4 CONTROL DE POTENCIA

3.4.1 ¿Porqué el Control de Potencia?

El control de potencia es esencial para la operación de manera uniforme de un sistema CDMA. Debido a que todos los usuarios comparten la misma banda de RF a través del uso de códigos PN, cada usuario parece ruido aleatorio a los otros usuarios. La potencia de cada usuario individual, se controla para que ningún usuario interfiera innecesariamente con otros en el sistema.

Para ilustrar como es que el control de potencia en CDMA es tan importante, se considera el caso de una sola célula que tiene dos usuarios hipotéticos (ver figura 3.8). Examinemos solo el enlace de subida dado que este enlace es el que fija los límites de propagación de la señal en CDMA. El usuario 2 esta mucho más cerca a la estación base que el usuario 1. Si no hay control de potencia, ambos usuarios transmitirán una cantidad fija de potencia p_i ; sin embargo, debido a la diferencia en distancia, la potencia recibida por el usuario 2, o p_{r2} , será mucho más grande que la potencia recibida del usuario 1, o p_{r1} . Si asumimos que la diferencia en distancia es tal que p_{r2} es 10 veces más que p_{r1} , entonces el usuario 1 tendrá una gran desventaja.

Si la SNR requerida, $(SNR)_{requerida}$, por la radio base es $(1/10)$, entonces podemos ver inmediatamente la disparidad entre las SNRs de los dos usuarios (ver figura 3.9). Si ignoramos el ruido térmico, entonces la SNR del usuario 2, $(SNR)_2$, será 10, y la SNR del usuario 1, $(SNR)_1$, será $(1/10)$. El usuario 2 tienen una mayor SNR y disfruta de una gran calidad de voz, pero la SNR del usuario 1 escasamente cumple con la $(SNR)_{requerida}$. Esta inequidad se conoce como el *problema de cercano-lejano* (*near-far*) en un sistema de acceso múltiple de espectro esparcido. El sistema en este punto se dice que ha alcanzado su capacidad. La razón es que si queremos agregar un tercer usuario transmitiendo p_i , en cualquier parte de la célula, entonces la SNR del tercer usuario no será capaz de alcanzar la $(SNR)_{requerida}$. De hecho, si forzamos a un tercer usuario dentro del sistema, ese tercer usuario no solo no alcanzará el nivel de $(SNR)_{requerida}$, sino que también causará que la SNR del usuario 1 caiga debajo del $(SNR)_{requerida}$.

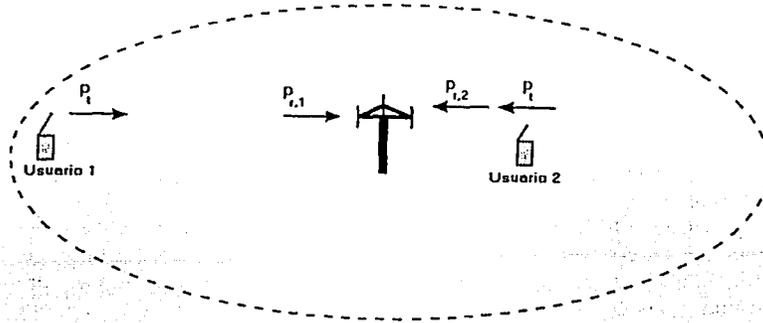


Figura 3.8: Una estación base con dos usuarios hipotéticos. Cada usuario está transmitiendo a la estación base una cantidad de potencia P_t .

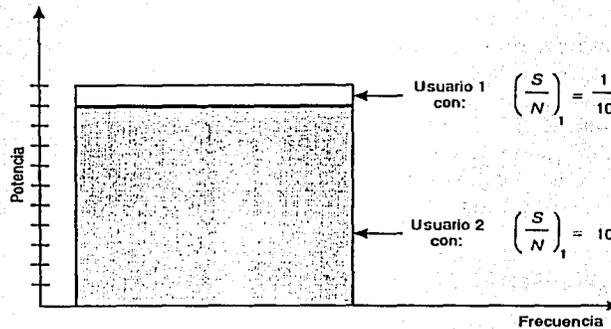


Figura 3.9: Potencia de dos usuarios recibida en la estación base. El usuario 2 tiene mucho mayor SNR que el usuario 1.

Entonces, para superar el problema de cercanía/lejanía y para maximizar la capacidad se implementa el control de potencia. El control de potencia controla la potencia transmitida de cada usuario; tal que la potencia recibida en la estación base es igual a la de cualquier otro usuario (ver figura 3.10); con esto, se asegura que el sistema pueda acomodar el mayor número de usuarios por célula y, además, aumente su capacidad de desempeño.

3.4.2 Enlace de Subida

3.4.2.1 Pruebas de Acceso

La primera intervención del control de potencia comienza resolviendo el problema de la potencia inicial que transmite el móvil. Antes que el móvil establezca contacto con la estación base, el móvil no sabe a que potencia transmitirá hacia la estación base. En este punto, la estación base aún no ha hecho contacto con el usuario, y la estación base no tiene idea de la localización del móvil. Hay dos opciones: la primera opción es que el móvil puede intentar acceder a la estación base con una potencia elevada de transmisión. Dado que una potencia alta incrementa la probabilidad de que la estación base reciba la petición de acceso del móvil. Sin embargo, la desventaja de una potencia alta de transmisión inicial es que representa interferencia para otros usuarios en la misma célula. La segunda opción es que el móvil puede pedir acceso a la estación base con una

baja potencia de transmisión. De esta forma, se reduce la probabilidad de que la estación base reciba la petición de acceso del móvil. Pero la ventaja es que este móvil no causará mucha interferencia a otros usuarios.

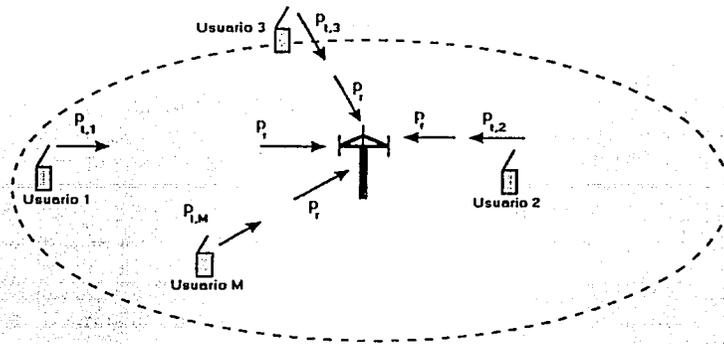


Figura 3.10: Con el control de potencia, una estación base puede soportar un número mayor de usuarios. La potencia de cada usuario es controlada para transmitir a diferentes niveles de potencia. Esto se hace con el fin de que las potencias recibidas, de usuarios individuales, sean todas iguales en la estación base.

La solución como se especifica en el estándar IS-95, es que cuando el móvil intenta por primera vez acceder al sistema, éste transmita una serie de pruebas de acceso. Las pruebas de acceso son series de transmisiones de potencias progresivamente más altas. El móvil transmite su primera prueba de acceso a una potencia baja, entonces espera por una respuesta de parte de la estación base. Si después de un intervalo de tiempo aleatorio el móvil no recibe un reconocimiento de la estación base. Entonces el móvil transmite una segunda prueba de acceso a una potencia ligeramente mayor. El proceso se repite hasta que el móvil recibe un reconocimiento de parte de la estación base. La diferencia de potencia entre la prueba de acceso actual y la previa se llama *corrección de prueba de acceso*. El incremento para una corrección de prueba de acceso individual se especifica mediante el parámetro del sistema PWR_STEP .

El estándar especifica que el móvil usará el nivel de potencia que reciba de la estación base para estimar cuanto transmita inicialmente. Conociendo la potencia que recibe la estación base, el móvil puede estimar la pérdida de trayectoria entre la estación base y él mismo. Si este conoce el ERP transmitido de la estación base, entonces el móvil sabrá que tanto necesita transmitir para compensar la pérdida de trayectoria. El móvil no conoce el ERP real de la estación base, tampoco sabe que tanta potencia reciben las otras estaciones base vecinas. Por ello se especifica una constante por *default* usando suposiciones genéricas de carga típica, así como del ERP estándar de las estaciones base. Específicamente, la potencia inicial transmitida del móvil, $P_{t, inicial}$ en decibeles (dB), será

$$P_{t, inicial} = -p_r - 73 + NOM_PWR + INIT_PWR \quad (3-1)$$

Como vemos, la constante por *default* es -73 para celular. Para PCS se usa un valor de -76 . Los dos ajustes adicionales, NOM_PWR e $INIT_PWR$, se pueden establecer por los operadores del sistema para un ajuste más delicado. Los valores de esos dos factores de ajuste, NOM_PWR e $INIT_PWR$, así como el parámetro PWR_STEP se radian desde la estación base (en el mensaje de parámetros de acceso) y recibidos por el móvil antes de acceder a la transmisión de prueba. Cuando recibe esos dos factores de ajuste, el móvil los usa en (3-1) para determinar su potencia inicial de transmisión.

3.4.2.2 Lazo abierto

El proceso anterior se llama *control de potencia en lazo abierto*, el cual es una operación de control exclusiva del móvil que no involucra a la estación base. Este proceso de lazo abierto continua después de que la estación base tiene conocimiento de la petición de acceso del móvil y después que el móvil comienza a transmitir en un canal de tráfico.

Después que se establece una llamada, y que el móvil se mueve dentro de la célula, la pérdida de trayectoria entre el móvil y la estación base continuará cambiando. Como resultado, la potencia que recibe el móvil cambiará y el control de potencia en lazo abierto continuará monitoreando la potencia que recibe el móvil p_r y ajustará la potencia que el móvil debe transmitir de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$p_t = - p_r - 73 + \text{NOM_PWR} + \text{INIT_PW} + (\text{suma de todas las correcciones de prueba de acceso}) \quad (3-2)$$

donde p_t es el cálculo continuo de la potencia a transmitir por el móvil de lazo abierto. La diferencia entre (3-2) y (3-1) es que (3-2) contiene un término adicional especificando la suma de todas las correcciones de prueba de acceso que se hacen durante la transmisión de prueba de acceso.

El control de potencia de lazo abierto, como se especifica en (3-2), se basa en una estimado de las pérdidas en la trayectoria de bajada. Este control de potencia se usa para compensar los efectos sombreado de variación lenta y normal de registro (*log-normal*) donde hay una correlación entre los desvanecimientos de enlace de bajada y enlace de subida. Sin embargo, dado que los enlaces de bajada y subida están en diferentes frecuencias, el control de lazo abierto es inadecuado y también lento para compensar el desvanecimiento rápido de Rayleigh (*fast Rayleigh fading*); dado que este último depende de la frecuencia, no podemos usar el control de potencia de lazo abierto para compensar el desvanecimiento rápido de Rayleigh.

3.4.2.3 Lazo cerrado

El control de potencia en lazo cerrado se usa para compensar las fluctuaciones de potencia debidas al desvanecimiento rápido de Rayleigh. Es aquí, en el lazo cerrado donde el proceso involucra a la estación base y al móvil. Una vez que el móvil obtiene un canal de tráfico y comienza a comunicarse con la estación base, el proceso de control de potencia de lazo cerrado opera en conjunto con el control de potencia de lazo abierto. En el control de potencia de lazo cerrado, la estación base continuamente monitorea el enlace de subida y mide la calidad del enlace. Si la calidad del enlace es mala, entonces la estación base ordenará al móvil aumentar la potencia. Si la calidad del enlace es muy buena, entonces hay un exceso de potencia en la comunicación con el móvil; en este caso, la estación base ordenará al móvil disminuir su potencia. Idealmente, el parámetro llamado *tasa de errores en la trama* (FER) es un buen indicador de la calidad del enlace. Pero como le toma mucho tiempo a la estación base acumular suficientes bits para calcular el FER, se usa en su lugar la E_b/N_0 como indicador de la calidad del enlace de subida.

La estación base envía al móvil los comandos de control de potencia usando el enlace de bajada. Estos comandos se representa en la forma de bits de control de potencia (PCBs). El valor en que aumenta y disminuye la potencia el móvil para cada PCB es nominalmente entre +1 dB y -1 dB.

Debido a que el control de potencia de lazo cerrado es importante para combatir el desvanecimiento rápido de Rayleigh, la respuesta del móvil a estos comandos de control de potencia debe de ser muy rápida. Por esta razón, los bits de control de potencia son directamente enviados sobre el canal de tráfico. Finalmente, hay tres puntos adicionales a mencionar sobre el control de potencia de lazo cerrado.

Los bits de control de potencia no están protegidos contra error, esto debido a que los PCBs son multiplexados dentro del canal de tráfico de bajada después del codificador convolucional. Esto se hace para reducir retardos que son inherentes en la decodificación y extracción de bits para protección de errores.

El control de potencia de lazo cerrado tiene un lazo interno y uno exterior. La premisa de un lazo interior es que existe un umbral de SNR predeterminado por el cual se decide si se aumenta o disminuye la potencia. Dado que estamos tratando siempre de mantener un FER aceptable, y como en un ambiente móvil no hay una

relación uno a uno entre el FER y la E_b/N_0 , el umbral del E_b/N_0 se tiene que ajustar dinámicamente para mantener el FER aceptable. A este ajuste del E_b/N_0 (que usa el control de potencia de lazo interior) se le llama *lazo exterior del control de potencia de lazo cerrado*. El proceso de lazo exterior no está definido en el estándar IS-95, y cada fabricante puede implementar sus propios algoritmos de lazo exterior.

Finalmente, el tercer punto concierne al *control de potencia de lazo cerrado durante un soft handoff*. El sistema CDMA IS-95 utiliza el soft handoff cuando un móvil se mueve dentro de dos o tres células. Durante el soft handoff, el móvil recibe tramas del canal de tráfico de dos o tres estaciones base, y en esos canales de tráfico puede haber conflicto con los comandos de control de potencia (por ejemplo, una estación base puede estar diciendo al móvil que suba la potencia mientras que la otra estación base puede estarle diciendo que la baje). En este tipo de situaciones, el móvil sigue esta regla: si cualquier estación base ordena al móvil bajar la potencia, el móvil bajará la potencia. El móvil aumentará únicamente la potencia si todas las estaciones base envueltas en el soft handoff ordenan al móvil subir la potencia.

3.4.2.4 Implementación de lazo abierto y lazo cerrado

La potencia que transmite el móvil es una función del control de potencia de lazo cerrado y lazo abierto del sistema. La ecuación (3-2) se puede modificar para incluir la corrección de potencia de lazo cerrado; esto es,

$$P_t = P_r - 73 + \text{NOM_PWR} + \text{INIT_PWR} \\ + (\text{suma de todas las correlaciones de prueba de acceso}) \\ + (\text{correlación de lazo cerrado}). \quad (3-3)$$

Por otra parte, en la implementación de un esquema de control de potencia para un enlace de subida, en el control de potencia de lazo cerrado la estación base tiene el control total del lazo exterior y parte del lazo interior; el móvil maneja la otra parte del lazo interior. Para el control de potencia de lazo abierto, la porción completa de lazo abierto reside en el móvil.

3.4.3 Enlace de Bajada

Idealmente, el control de potencia no es necesario en este enlace. La razón es que la estación base está transmitiendo todos los canales coherentemente en la misma banda de radiofrecuencia. Si el ruido térmico y el ruido del ambiente son despreciables, entonces todas las señales se desvanecen juntas conforme la señal compuesta llega al móvil. Sin embargo, en la vida real, un móvil en particular puede estar cerca de un obstáculo mayor y experimentar una gran interferencia del ambiente, o un móvil puede sufrir una gran pérdida de trayectoria tal que al llegar la señal compuesta esté en el orden de ruido térmico. Por ello, es necesario el control de potencia en el enlace de bajada.

El estándar IS-95 especifica que el móvil tiene que reportar a la estación base la calidad del enlace de bajada. El móvil continuamente monitorea el FER del enlace de bajada, y reporta este FER a la estación base en un mensaje llamado *mensaje de reporte de medida de potencia* (PMRM). Este puede ser enviado en dos formas: una es que el móvil periódicamente reporte el PMRM, y la otra es que el móvil reporte el PMRM únicamente si el FER excede cierto umbral. La estación base, conociendo la calidad del enlace de bajada, ajusta la potencia a transmitir a ese móvil en particular.

3.5 PROCESAMIENTO DE LA LLAMADA

3.5.1 Estados de Procesamiento de Llamada

El procesamiento de la llamada se refiere a todas las funciones que el sistema necesita llevar a cabo para establecer, mantener y terminar una llamada entre un móvil y otro teléfono. Se puede realizar dos tipos de co-

nexiones: una llamada de un *móvil a tierra* y una llamada de un *móvil a otro móvil*. En el caso de móvil a tierra, la llamada se establece entre un móvil y un teléfono alámbrico, en cuyo caso la llamada se en ruta a través de la *Red Telefónica de Conmutación Pública* (PSTN). El sistema CDMA IS-95 adopta una descripción por estados del procesamiento de la llamada. Dado que el móvil es el elemento común en los dos tipos de conexiones, el estándar IS-95 especifica los estados de la llamada desde la perspectiva de la estación móvil.

Es importante notar que el estándar no especifica los estados de la llamada para la estación base, sin embargo, cualquiera que sean las funciones que la estación base lleve a cabo deben trabajar con los estados de la llamada especificados para el móvil, los fabricantes son libres de implementar sus propias funciones de la estación base para satisfacer los requerimientos del procesamiento de la llamada.

Durante una operación normal, el móvil puede ocupar cualquiera de los siguientes estados:

- Estado de inicialización de la estación móvil;
- Estado inactivo de la estación móvil;
- Estado de acceso al sistema;
- Control de la estación móvil en el estado de canal de tráfico.

En la figura 3.11, se ilustra gráficamente estos estados y las transiciones asociadas.

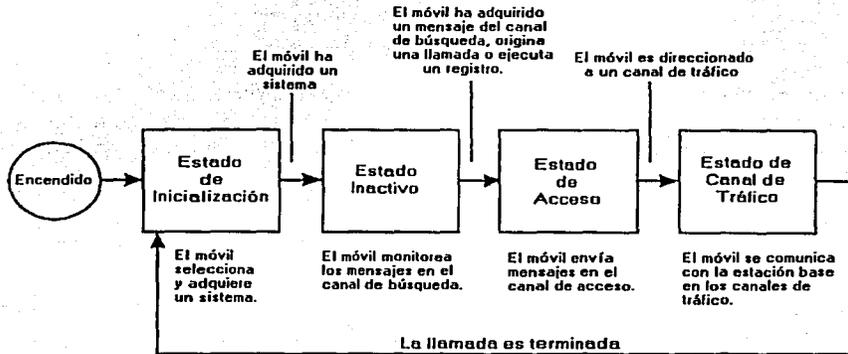


Figura 3.11: Estados del procesamiento de llamada de la estación móvil.

Después del encendido, el móvil entra al estado de inicialización, donde el móvil selecciona y adquiere un sistema. Al salir del estado de inicialización, el móvil tiene totalmente acceso al sistema y sincronización. Entonces el móvil entra al estado inactivo, donde el móvil monitorea los mensajes en el canal de búsqueda.

Cualquiera de los tres siguientes eventos causará al móvil la transición del estado inactivo al estado de acceso al sistema:

- 1) El móvil recibe un mensaje del canal de búsqueda pidiendo un reconocimiento o respuesta;
- 2) El móvil origina una llamada;
- 3) El móvil ejecuta un registro.

En el estado de acceso, el móvil envía mensajes a la estación base en el canal de acceso. Cuando el móvil se dirige al canal de tráfico, éste entra al estado de canal de tráfico, donde el móvil se comunica con la estación base usando los canales de tráfico de bajada y subida. Cuando se termina la llamada el móvil regresa al estado de inicialización.

3.5.2 Estado de Inicialización

Después de encenderse, el móvil entra al estado de inicialización. Este estado contiene cuatro subestados, los cuales el móvil sigue secuencialmente.

3.5.2.1 Subestado de determinación de sistema

En este subestado, el móvil selecciona que sistema a usar (es decir, el sistema A o sistema B en la banda celular). Debido a que todos los teléfonos celulares CDMA tienen capacidad de modo dual, el móvil también decide si estará en modo CDMA o analógico. Si se selecciona el modo CDMA, el móvil procede a seleccionar cual portadora CDMA usará. Entonces el móvil entra al siguiente subestado.

3.5.2.2 Subestado de adquisición del canal piloto

Aquí, el móvil demodula y adquiere el canal piloto del sistema CDMA seleccionado. El móvil tiene que adquirir el canal piloto dentro de un cierto límite de tiempo; si el móvil adquiere el canal piloto dentro del límite de tiempo, entonces entra al subestado de adquisición del canal de sincronización. Si el móvil no lo adquiere dentro del límite de tiempo, entonces regresa al subestado de determinación de sistema.

3.5.2.3 Subestado de adquisición del canal de sincronización

En este subestado, el móvil procede a adquirir el canal de sincronización del sistema CDMA. Es decir, el móvil obtiene la configuración del sistema y la información del cronometraje (*timing*), mediante la adquisición del canal de sincronización y la lectura del mensaje del canal de sincronización. De la misma manera que en el caso anterior, el móvil necesita adquirir el canal de sincronización y leer el mensaje del canal de sincronización dentro del tiempo límite, para con ello avanzar al siguiente subestado o regresar al de determinación de sistema.

3.5.2.4 Subestado de cambio de cronometraje

En este subestado, el móvil sincroniza su cronómetro al tiempo del sistema CDMA y su fase de código largo al del sistema CDMA. En este punto, el móvil ya ha demodulado el mensaje del canal de sincronización y posee todos los parámetros del mensaje.

Después que el móvil ha adquirido completamente el sistema CDMA, éste entra al estado de inactividad de la estación móvil.

3.5.3 Estado Inactivo

3.5.3.1 Monitoreo del canal de búsqueda

En el estado inactivo, el móvil monitorea el canal de búsqueda en el enlace de bajada para recibir mensajes o una llamada entrante. La transmisión del canal de búsqueda está dividida en ranuras de tienen 80ms de longitud. Hay dos formas en que el móvil puede monitorear el canal de búsqueda: monitoreo en modo no ranurado o en modo ranurado.

En modo no ranurado, el móvil monitorea el canal de búsqueda todo el tiempo. En modo ranurado, el móvil monitorea el canal de búsqueda únicamente en las ranuras asignadas. Debido a que el móvil no tiene que monitorear todas las ranuras todo el tiempo, el móvil operando en el modo ranurado puede ahorrar energía de la batería.

3.5.3.2 *Handoff inactivo*

Cuando el móvil está en el estado inactivo y tiene que moverse del área de cobertura de una estación base al área de cobertura de otra estación base, ocurre un handoff inactivo. Esto sucede si el móvil detecta que la energía del canal piloto de otra estación base es mayor a la estación base actual. Al hacerlo, el móvil mantiene tres conjuntos de canales piloto PN de compensación (*offsets*) de la estación base (o sectores):

- El *conjunto activo* contiene el canal piloto de compensación del sector cuyo canal de búsqueda es actualmente monitoreado por el móvil.
- El *conjunto vecino* contiene los canales piloto de compensación de aquellos sectores que son probables candidatos para handoff inactivo. El *mensaje de lista de vecinos* especifica los canales pilotos del conjunto vecino
- El *conjunto residuo* contiene todos los posibles canales piloto de compensación del sistema, excluyendo los canales pilotos del conjunto activo y conjunto vecino.

Si el móvil determina que una de las señales piloto del conjunto vecino o conjunto residuo es suficientemente más fuerte al piloto del conjunto activo, el móvil ejecuta un handoff inactivo. El handoff inactivo no es más que el inicio para monitorear el canal de búsqueda de un nuevo sector cuya energía del canal piloto es mayor a la del sector actual.

El móvil monitorea el canal de búsqueda de una sola estación base (es decir, el conjunto piloto contiene solo un canal piloto). Por esto, el handoff suave no es aplicable en el estado inactivo.

3.5.3.3 *Mensajes del canal de búsqueda*

Hay un total de seis mensajes de cabecera que se envían al móvil en el canal de búsqueda:

- 1) Mensaje de parámetros del sistema;
- 2) Mensaje de lista de vecinos;
- 3) Mensaje de lista de canales CDMA;
- 4) Mensaje de parámetros del sistema extendido;
- 5) Mensaje de redirección del servicio global;
- 6) Mensaje de parámetros de acceso.

Los primeros cinco mensajes se refieren como los *mensajes de configuración*. El móvil está constantemente recibiendo estos mensajes en el canal de búsqueda, y dentro de estos mensajes hay muchos campos que necesitan ser actualizados y cargados en la memoria del móvil. Por otra parte, la estación base asigna un número de secuencia a los mensajes de configuración del conjunto actual. Cuando el contenido de uno o más de los mensajes de configuración cambia, el número de secuencia de estos mensajes se incrementa.

3.5.4 Estado de Acceso

En el estado de acceso, el móvil transmite mensajes a la estación base usando el canal de acceso. Adicionalmente, el móvil también recibe mensajes de la estación base en el canal de búsqueda. Hay seis subestados que el móvil puede ocupar dentro del estado de acceso.

3.5.4.1 *Subestado de información de actualización de cabecera*

Después que el móvil recibe los mensajes de configuración actuales en el canal de búsqueda, el móvil compara los números de secuencia para determinar si o no todos los mensajes de configuración. Los procedimientos de actualización se usan para actualizar todos los números de secuencias almacenados local-

mente. El móvil también chequea si tiene o no los últimos parámetros de acceso.

Además, de recibir los mensajes de configuración y los mensajes de parámetros de acceso, el móvil puede recibir los siguientes mensajes de búsqueda:

- Mensaje de búsqueda;
- Mensaje de búsqueda por ranurado;
- Mensaje de búsqueda general.

Siempre que el móvil reciba un mensaje de búsqueda, la estación móvil busca en cada mensaje para determinar si éste contiene la Identificación Internacional de la Estación Móvil (IMSI). Si es así, entonces el móvil cambia al subestado de respuesta de búsqueda y transmite un mensaje de respuesta de búsqueda en el canal de acceso.

3.5.4.2 Subestado de respuesta de búsqueda

En este subestado, el móvil envía un *mensaje de respuesta de búsqueda* en respuesta a los mensajes de búsqueda enviados por la estación base. El móvil envía el mensaje de respuesta de búsqueda usando los procedimientos de acceso.

Después de recibir el mensaje de respuesta de búsqueda, la estación base envía al móvil un *mensaje de asignación de canal* en el canal de búsqueda para comenzar a establecer la llamada. El mensaje de asignación de canal contiene parámetros como asignación de frecuencia y canal de código, los cuales son usados por el móvil para sintonizarse a la frecuencia RF asignada y al canal de código CDMA para comenzar a recibir el canal de tráfico de bajada.

3.5.4.3 Subestado de intento de inicialización de la estación móvil

En este subestado, el móvil envía un *mensaje de inicialización* a la estación base para empezar una llamada. El móvil envía el mensaje de inicialización usando los procedimientos de acceso.

Después de recibir el mensaje de inicialización, la estación base puede enviar al móvil un *mensaje de asignación de canal* en el canal de búsqueda para empezar a establecer la llamada. El mensaje de asignación de canal contiene parámetros como asignación de frecuencia y canal de código, los cuales son usados por el móvil para sintonizarse a la frecuencia RF asignada y al canal de código CDMA para comenzar a recibir el canal de tráfico de bajada.

3.5.4.4 Subestado de acceso de registro

En este subestado, el móvil envía un *mensaje de registro* a la estación base. El móvil envía el mensaje de registro usando los procedimientos de acceso. El registro es el proceso donde el móvil informa a la estación base acerca de la identificación, estatus, localización y otra información pertinente del móvil.

3.5.4.5 Subestado de respuesta del mensaje / petición de la estación móvil

En este subestado, el móvil envía una respuesta a cualquier otro mensaje enviado por la estación base. Por su parte, el móvil envía el mensaje pertinente utilizando los procedimientos de acceso.

3.5.4.6 Subestado de transmisión de mensaje de la estación móvil

Este subestado no es obligatorio. Aquí, el móvil envía un *mensaje de ráfaga de datos* a la estación base, utilizando los procedimientos de acceso.

3.5.4.7 Procedimiento de acceso

Cuando el móvil envía mensajes a la estación base en el canal de acceso, hay un problema fundamental de acomodar más de un solo móvil. Por ejemplo, por lo general existen muchos móviles que desean acceder a una misma estación base. Para algunas magnitudes, este problema de *congestión* se puede resolver al separar a las estaciones móviles asignándoles canales de acceso diferentes. La estación base lo hace al especificar un *canal de acceso* en el mensaje de parámetros de acceso; el móvil aleatoriamente escoge un canal de acceso entre 0 y el especificado para transmitir.

Sin embargo, si más de un móvil usa el mismo canal de acceso, sus transmisiones en el canal de acceso pueden colisionarse en el tiempo. Este problema de *colisión* se puede resolver al hacer aleatorio el tiempo de transmisión de los diferentes móviles tal que la probabilidad de colisión se reduzca.

Hay dos tipos de mensajes que se envían en el canal de acceso: un mensaje de respuesta y un mensaje de petición. Un mensaje de respuesta se envía en respuesta a un mensaje de la estación base (un ejemplo, es el *mensaje de respuesta de cambio de autenticación*). Por otro lado, un mensaje de petición se envía autónomamente por el móvil (un ejemplo, es el *mensaje de inicialización*). Ahora bien, se usan diferentes procedimientos de acceso para enviar estos dos tipos de mensajes.

3.5.5 Estado de Canal de Tráfico

El móvil puede entrar al estado de canal de tráfico desde dos subestados dentro del estado de acceso:

- 1) Subestado de respuesta de búsqueda; y
- 2) Subestado de intento de inicialización de la estación móvil.

En otras palabras, después que el móvil ha respondido satisfactoriamente a la búsqueda de la estación base o después que el móvil ha inicializado satisfactoriamente, el móvil puede entrar al estado de canal de tráfico. En este estado, el móvil se comunica con la estación base usando los canales de tráfico de bajada y subida. Este estado consiste de cinco subestados.

3.5.5.1 Subestado de inicialización del canal de tráfico

En este subestado, el móvil hace una revisión al canal de tráfico de bajada para checar si puede realmente recibir información. Para hacerlo, el móvil verifica que este pueda recibir dos tramas buenas consecutivas dentro de 200ms. Si este puede, entonces el móvil comienza a transmitir en el este canal.

Si el móvil recibe una orden de reconocimiento de la estación base dentro de dos segundos después de entrar en este subestado, entonces ocurrirá lo siguiente:

- Si la llamada la origina el móvil, entonces el móvil entrará al subestado de conversación.
- Si la llamada la termina el móvil, entonces el móvil entrará al subestado de espera para orden.

El móvil regresará al subestado determinación del sistema en el estado de inicialización si el móvil no recibe dos tramas buenas de 200ms consecutivas, o si no recibe una orden de reconocimiento de la estación base dos segundos después de entrar en este subestado.

3.5.5.2 Subestado de espera para orden

Si el móvil termina la llamada, éste entra a este subestado desde el subestado de inicialización del canal de tráfico. En este subestado, el móvil espera por un *mensaje de alerta con información* (enviado en el canal de tráfico de bajada) desde la estación base. Este mensaje básicamente transmite una alerta o un timbre al móvil. Si el móvil recibe el mensaje de alerta, entonces el móvil entrará al subestado de espera para respuesta de es-

tación móvil. Si el móvil no recibe el mensaje de alerta dentro de cinco segundos después de entrar a este subestado, entonces el móvil retornará al subestado de determinación de sistema del estado de inicialización.

3.5.5.3 *Subestado de espera para respuesta de la estación móvil*

En este subestado, el móvil espera a que el usuario responda la llamada. Se observa que el móvil puede únicamente entrar a este subestado si el móvil termina la llamada. Si el usuario responde la llamada, entonces el móvil detiene el timbre y envía una orden de conexión de regreso a la estación base en el canal de tráfico de subida; entonces, el móvil entra al subestado de conversación

3.5.5.4 *Subestado de conversación*

Si el móvil inicia la llamada, entonces el móvil entra al subestado de conversación desde el subestado de inicialización del canal de tráfico. Si el móvil termina la llamada, entonces el móvil entra a este subestado desde el subestado de espera para respuesta de la estación móvil. En este subestado, el móvil y la estación base intercambian bits de tráfico primarios en los canales de tráfico de bajada y subida.

3.5.5.5 *Subestado de liberación*

En este estado, el móvil libera o desconecta la llamada. Si el móvil inicia la liberación, entonces el móvil primero envía una orden de liberación a la estación base en el canal de tráfico de subida. Si la estación base inicia la liberación, entonces la estación base envía una orden de liberación al móvil en el canal de tráfico de bajada.

3.6 TRANSFERENCIA DE LLAMADA (HANDOFF)

En un ambiente de comunicaciones móviles, el usuario necesita moverse sin restricciones a lo largo del sistema. Un usuario puede moverse dentro de la cobertura de una estación base, sin embargo, no siempre quiere quedarse ahí y es cuando el móvil se moverá al área de cobertura de otra estación base. A este proceso se le llama *handoff* y se define como la transición del enlace de comunicación de una estación base a la siguiente. El sistema CDMA como lo define IS-95 soporta diferentes procesos de *handoff*.

El primero es la transferencia de llamada suave (*soft handoff*). Durante el *handoff*, un móvil mantiene simultáneamente conexión con dos o tres estaciones base. Cuando el móvil se mueve de su célula actual (célula fuente) a la siguiente célula (célula objetivo), siempre se mantiene una conexión de canal de tráfico con ambas células (como se describe en la figura 3.12). En el enlace de bajada (ver figura 3.12(a)), el móvil usa el receptor RAKE (*rake receiver*) para demodular dos señales separadas de dos estaciones base diferentes. Las dos señales se combinan para obtener una señal compuesta de mejor calidad. En el enlace de subida (ver figura 3.12(b)), la señal que transmite el móvil se recibe por ambas estaciones base. Las dos células demodulan la señal por separado y envían las tramas demoduladas al *centro de conmutación móvil* (MSC), el cual contiene un selector que selecciona la mejor trama de salida de las dos enviadas.

El segundo es la transferencia de llamada más suave (*softer handoff*). Este tipo de *handoff* ocurre cuando un móvil hace una transición entre dos sectores de la misma célula. En el enlace de bajada, el móvil ejecuta el mismo tipo de proceso de combinación que en el *soft handoff*; sin embargo, en este caso el móvil usa su receptor RAKE para combinar las señales recibidas de los dos sectores diferentes. En el enlace de subida, sin embargo, dos sectores de la misma célula reciben simultáneamente las dos señales del móvil. Estas señales son demoduladas y combinadas dentro de la célula, y únicamente se envía una trama al MSC.

El tercer es la transferencia de llamada dura (*hard handoff*). El sistema CDMA hace dos tipos de *hard handoffs*. Un *handoff de CDMA a CDMA* ocurre cuando el móvil hace una transición entre dos portadoras CDMA (es decir, dos canales de espectro esparcido que están centrados a frecuencias diferentes). Adicionalmente, el *hard handoff* también ocurre cuando el móvil hace una transición entre dos sistemas de

diferentes operadores. Por otro lado, el *handoff de CDMA a Analógico* ocurre cuando una llamada CDMA se transmite en una red analógica. Esto puede ocurrir cuando el móvil viaja dentro de un área donde hay servicios analógicos pero no hay servicio CDMA.

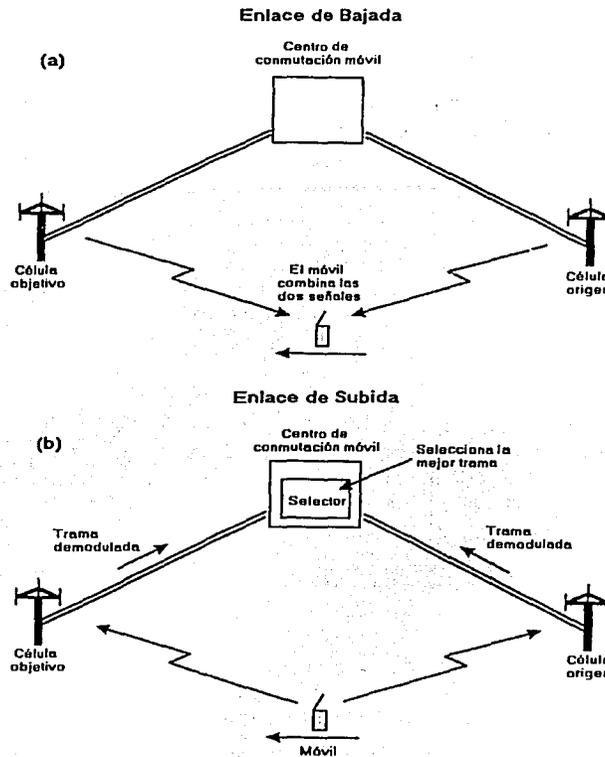


Figura 3.12: (a) Soft handoff entre dos estaciones base –enlace de bajada; (b) Soft handoff entre dos estaciones base –enlace de subida.

Es importante mencionar que cada sector en un sistema CDMA se distingue de cualquier otro por el canal piloto de ese sector. Como muestra la figura 3.13, el canal piloto es uno de los cuatro canales en el enlace de bajada que sirve como “faro” para el sector y ayuda al móvil a adquirir otros canales lógicos del sector. El canal piloto no contiene información más que el código corto PN con un desplazamiento (*offset*) específico asignado a cada sector en particular.

Finalmente, se usa un término especial para describir la SNR del canal piloto: energía por chip (chips se refiere a los bits en las secuencias esparcidas PN) por densidad de interferencia (E_c/I_o).

3.6.1 Handoff en el Móvil

En CDMA, el móvil es un participante esencial en el proceso de *soft handoff*. El móvil constantemente notifica a la estación base las condiciones de la propagación local; la estación base hace uso de esta información para tomar decisiones sobre un handoff. En el proceso MAHO (*mobile-assisted handoff*) es evidente que el móvil hace una medición de E_c/I_o del enlace de bajada y reporta el resultado de la medida a la

estación base. Dado que cada estación base transmite su propio canal piloto a un diferente *offset* PN, la E_c/I_o de un canal piloto da una buena indicación de si un sector en particular puede o no, ser el sector más apropiado para servir al móvil.

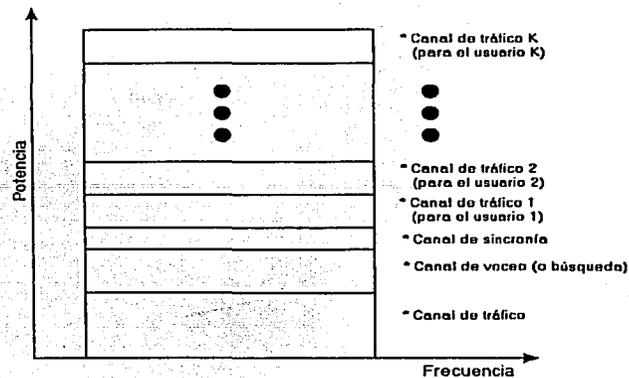


Figura 3.13: Señal CDMA de espectro esparcido en el enlace de bajada.

En el proceso de handoff, el móvil mantiene en su memoria cuatro listas exclusivas de los sectores de las estaciones base. A estas listas también se les llama *conjuntos*. Los cuatro conjuntos son: *conjunto activo*, *conjunto candidato*, *conjunto vecino*, y *conjunto residuo*.

El conjunto activo contiene los canales pilotos de aquellos sectores que se están comunicando activamente con el móvil en los canales de tráfico. Si el conjunto activo contiene únicamente un canal piloto, entonces el móvil no está en soft handoff. Si el conjunto activo contiene más de un canal piloto, entonces el móvil está manteniendo una conexión con todos aquellos sectores en canales de tráfico separados. La estación base controla esencialmente el proceso de handoff, ya que se puede agregar únicamente un canal piloto al conjunto activo si la estación base envía un *mensaje de instrucción de handoff* al móvil y el mensaje contiene el canal piloto en particular que se va a agregar al conjunto activo.

El conjunto candidato contiene aquellos canales piloto cuyas relaciones E_c/I_o son lo suficiente para hacerlos candidatos de handoff. Esto significa que si la relación E_c/I_o de un canal piloto en particular es más grande que el *umbral de detección del piloto*, entonces este canal piloto se agregará al conjunto candidato.

Un conjunto vecino contiene aquellos canales piloto que están en la "*lista de vecinos*" del actual sector servidor de las estaciones móviles. Inicialmente, el conjunto vecino contiene aquellos canales piloto que son enviados al móvil en el *mensaje de lista de vecinos* por la estación base servidora. El conjunto residuo contiene todos los posibles canales piloto del sistema para esta frecuencia portadora CDMA, excluyendo a los canales piloto que están en los conjuntos activo, candidato y vecino.

Finalmente, un canal piloto que se encuentra en el conjunto candidato se puede remover hacia el conjunto vecino si la intensidad de éste cae por debajo del "*umbral de caída del piloto*". Por otra parte, un canal piloto puede ser removido del conjunto activo hacia un conjunto candidato o vecino, si el *mensaje de instrucción de handoff* no incluye el canal piloto adecuado.

3.6.2 Proceso de Transferencia de la Llamada

La manera más sencilla de presentar el proceso de handoff es mediante una explicación paso por paso de lo que sucede entre el móvil y dos estaciones base. Una de ellas es la célula de donde partirá el móvil y la otra donde será transferido. Como se muestra en la figura 3.14, el móvil se está moviendo desde el área de cobertura de la célula fuente A al área de cobertura de la célula objetivo B.

A continuación se presentan los eventos que ocurren durante la transición:

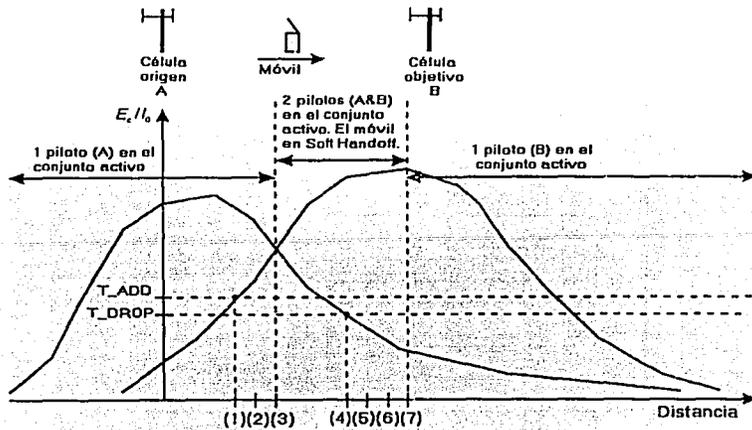


Figura 3.14: Proceso de Handoff.

- 1) En primera instancia el móvil se encuentra alimentado únicamente por la célula A, y su conjunto activo contiene tan solo un canal piloto A. El móvil mide el nivel de E_c/I_o del canal piloto B y lo encuentra mayor que el "umbral de detección del piloto (T_ADD)". Es aquí cuando el móvil envía un *mensaje de medida de intensidad del piloto* y transfiere al canal piloto B del conjunto vecino al conjunto candidato.
- 2) El móvil recibe un *mensaje de instrucción de handoff* de la célula A. Dicho mensaje ordena al móvil iniciar la comunicación en un nuevo canal de tráfico con la célula B; el mensaje contiene el offset PN de la célula B y el código de Walsh del nuevo canal de tráfico.
- 3) El móvil mueve el canal piloto B del conjunto candidato al conjunto activo. Después de adquirir el canal de tráfico de bajada, especificado en el *mensaje de instrucción de handoff*, el móvil envía un *mensaje de terminación de handoff*. Ahora el conjunto activo contiene dos canales piloto en su lista.
- 4) El móvil detecta que el canal piloto A ha caído por debajo del umbral permitido (T_DROP), por tal, el móvil inicia el cronómetro de tiempo de caída.
- 5) Cuando el cronómetro de caída alcanza el valor correspondiente al tiempo de terminación del handoff (T_TDROF), el móvil envía un *mensaje de medición de la intensidad del canal piloto*.
- 6) El móvil recibe un *mensaje de instrucción de handoff*, el cual contiene únicamente el offset PN de la célula B.
- 7) Finalmente, el móvil cambia el canal piloto A del conjunto activo al conjunto vecino, y envía un *mensaje de terminación de handoff*.

3.7 REVISIONES DE IS-95

La norma original de interfaz de aire IS-95-A fue completada con la norma IS-95-B, que incluye varios mejoramientos para algoritmos de transferencia obligada en ambientes de portador múltiple y en parámetros que afectan el control de transferencia condicionada. Sin embargo, el cambio primario en la norma tenía que ver con tasas de datos más altas para datos CDMA de conmutación en paquetes y en modo circuito: tasas de datos de hasta 115 Kbit/s pueden ser apoyadas ahora al empaquetar hasta ocho canales de datos de 14.4 o 9.6 Kbits/s. Algunos operadores en Asia están implementando hoy datos IS-95-B con tasas de servicio de hasta 64 Kbit/s.

3.8 DISTRIBUCIÓN DE CDMAOne EN EL MUNDO

CDMA es la tecnología digital más moderna, con un potencial y futuro prometedor. CdmaOne ya ha ganado aceptación internacional, las redes cdmaOne sirven ya a millones de suscriptores en el mundo entero. CDMA sigue creciendo a un ritmo sin precedentes. A continuación se presenta la figura 3.15 que muestra la velocidad de crecimiento de cdmaOne a través del tiempo. Los consumidores de todo el mundo ahora disfrutan de las avanzadas capacidades ofrecidas por esta tecnología, por ejemplo Internet inalámbrico y servicios inalámbricos de información. Tanto los fabricantes como los operadores cosechan progresivamente los beneficios asociados con la introducción de servicios avanzados de comunicación, tal como se aprecia en el crecimiento de CDMA entre los abonados de América del Norte, donde las comunicaciones inalámbricas e Internet ya son sinónimos. El caso es similar en Asia (Japón y Corea), en donde se ofrecen fácilmente datos de alta velocidad.

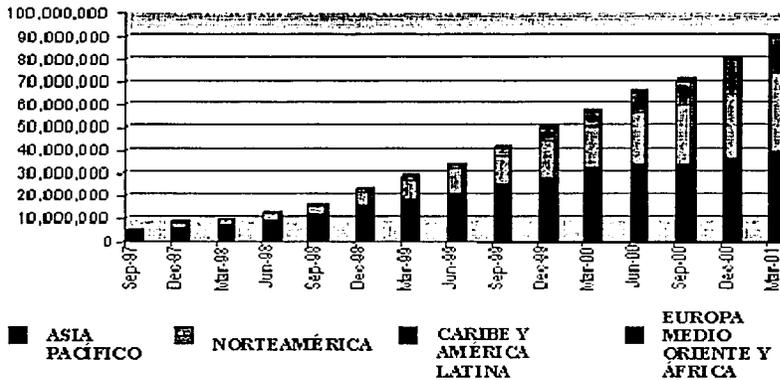


Figura 3.15: Crecimiento de suscriptores de cdmaOne de Septiembre 1997 a Junio 2001.

En nuestros días cdmaOne da servicio a 103 millones de usuarios en el mundo, distribuyéndose como se muestra en la figura 3.16.

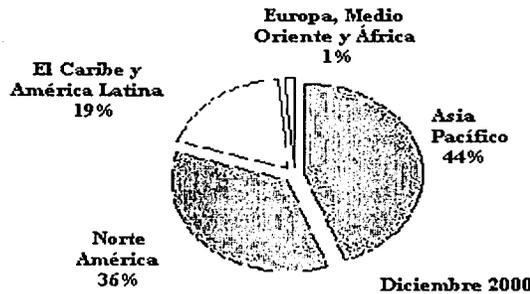


Figura 3.16: Distribución de cdmaOne en el mundo.

Para brindar una mayor información en cuanto a la distribución de cdmaOne en el mundo, a continuación se muestra un conjunto de imágenes (figuras 3.17a, b, c, d y e), que señalan los países que emplean cdmaOne en cada uno de los cinco continentes.

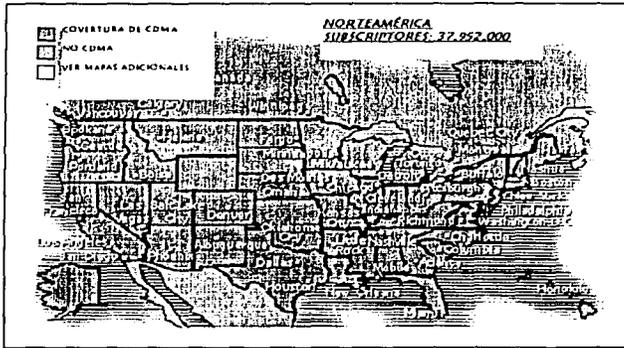


Figura 3.17a: Distribución cdmaOne en Norteamérica.

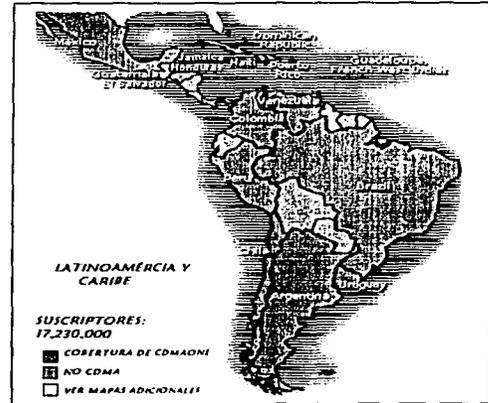


Figura 3.17b: Distribución cdmaOne en Latinoamérica y Caribe.

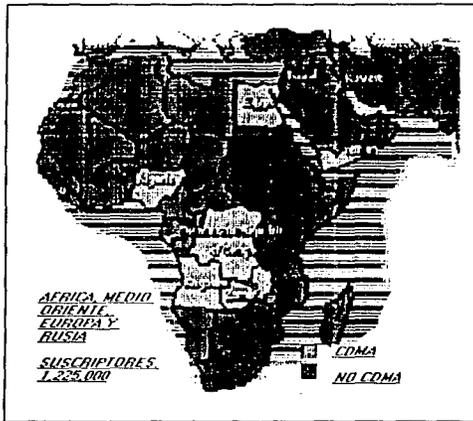


Figura 3.17c: Distribución cdmaOne en África, Medio Oriente, Europa y Rusia.

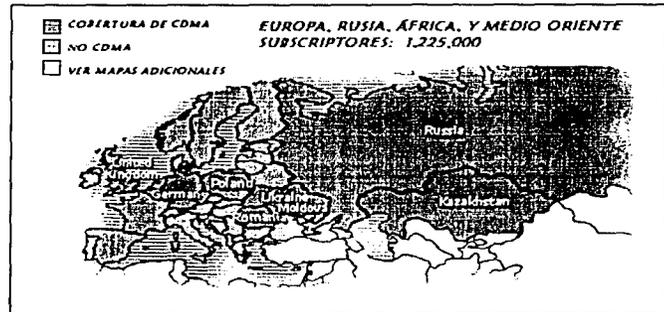


Figura 3.17d: Distribución cdmaOne en Europa, Rusia, África, y Medio Oriente.

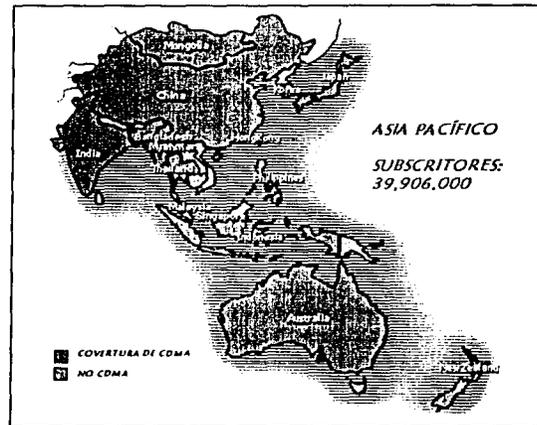


Figura 3.17e: Distribución cdmaOne en Asia Pacífico.

CAPÍTULO 4

IMT-2000

4.1 INTRODUCCIÓN

La globalización del mundo actual nos ha llevado a la necesidad de buscar nuevos sistemas de comunicación global, en donde los usuarios tengan más que una conexión de voz en sus equipos móviles. A estos tipos de sistemas de comunicaciones móviles, con nuevas aplicaciones, se les ha llamado *sistemas de Tercera Generación (3G)*, y al referirnos a ellos hablamos de sistemas de banda ancha con transmisión de texto, digitalización de voz, video y multimedia no importando en qué parte del mundo se encuentre el usuario. Se esperan altas velocidades de acceso a Internet y acceso en todo momento, entretenimiento, información de todo tipo, en cualquier instante y desde cualquier lugar en donde nos encontremos.

Por otra parte, los sistemas de comunicación 3G están constituidos por diversos factores, los cuales pueden determinar su éxito, estos factores se pueden observar en la figura 4.1.

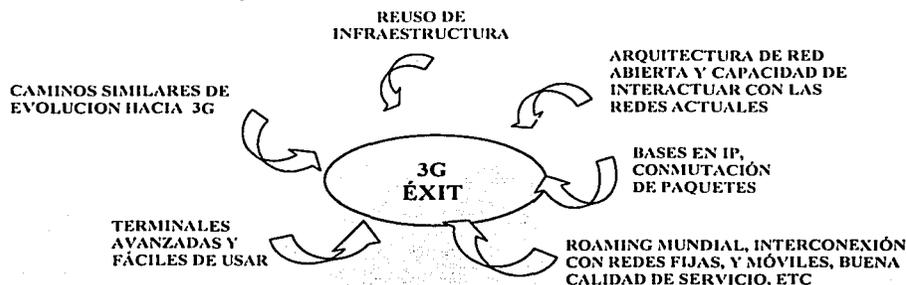


Figura 4.1: Factores de los Sistemas de Tercera Generación.

Finalmente, el amplio crecimiento que ha tenido Internet alrededor del mundo (ver figura 4.2) ha legado un mercado muy prometedor de servicios de información y multimedia. El reto para los sistemas 3G es mezclar el concepto de telefonía móvil con Internet y otras aplicaciones de multimedia. Así pues, la transición hacia los sistemas 3G necesita de un camino factible de migración que defina la forma de integrar multimedia, conmutación por paquetes, y un acceso de radio de banda ancha a partir de los sistemas de segunda generación que dominan en nuestros días.

4.2 IMT-2000

4.2.1 Concepto de IMT-2000

Las Telecomunicaciones Móviles Internacionales-2000 (IMT-2000), conocidas anteriormente como Futuros

Sistemas Públicos de Telecomunicaciones Móviles Terrestres (*FSPTMT*), designación que se dio en la Conferencia Administrativa Mundial de Radiocomunicaciones 1992 (*CARM-92*) y que actualmente son también conocidas como los Sistemas Móviles de Tercera Generación (3G), son la visión de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (*UIT*) para hacer realidad el sueño de comunicaciones en todo lugar y en todo momento.

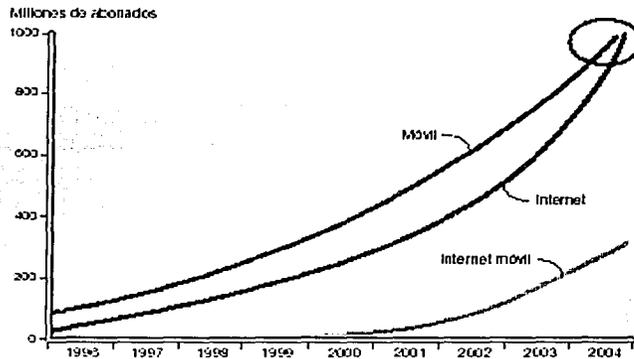


Figura 4.2: Tasa de crecimiento de los servicios de telefonía móvil, Internet e Internet móvil.

El servicio ha sido programado para que comience alrededor del año 2001, según las circunstancias del mercado. El objetivo de IMT-2000 es proveer cobertura global de los sistemas 3G con ayuda de terminales de alta tecnología que sean capaces de convivir con diferentes redes en diferentes partes del mundo. A continuación, en la figura 4.3 se muestran las tecnologías y grupos de estandarización que conforman a la IMT-2000.

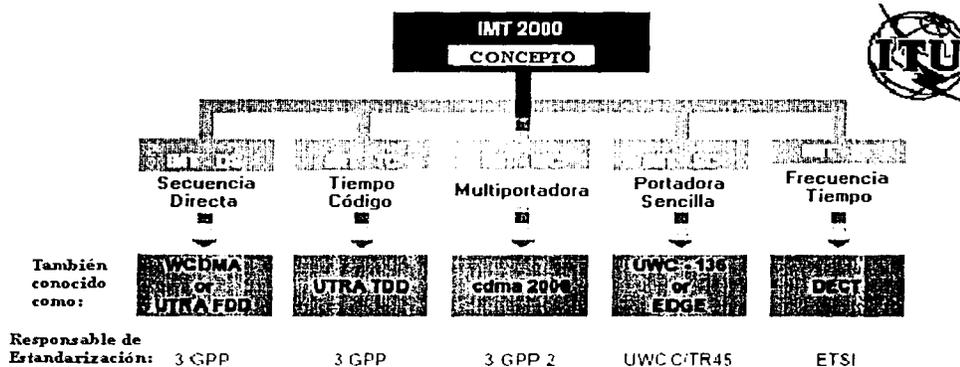


Figura 4.3: Tecnologías y grupos de estandarización que conforman a la IMT-2000.

Por otra parte, UMTS (*Universal Mobile Telecommunicatios System*) es el miembro europeo de la familia IMT-2000 de la UIT para el desarrollo de sistemas móviles de comunicaciones de tercera generación, basados en banda ancha, ISDN y evolución principalmente de sistemas GSM. Así también, en Japón, el ARIB (*Association of Radio Industries and Broadcasting*) y TTC (*Telecommunications Technology Council*) trabajan en normas y estándares para la tercera generación. En los Estados Unidos, ANSI (*American National Standard*) trabaja en la propuesta de los nuevos sistemas 3G.

Finalmente, los principales cuerpos de estandarización (ver figura 4.4) como: ETSI, ARIB/TTC, y ANSI, presentan sus propuestas a la UIT quien es el responsable de la armonización y aprobación de estos como sistemas IMT-2000.

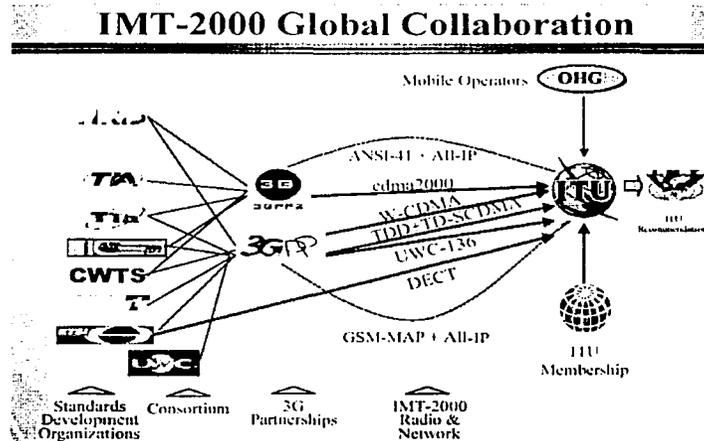


Figura 4.4: Principales cuerpos de estandarización.

4.2.2 Estandarización

En el ámbito de la estandarización las IMT-2000 son el resultado de la colaboración de muchas entidades, dentro de la UIT (UIT-R y UIT-T), y fuera de ella, las entidades 3GPP, 3GPP2 y UWC (*Universal Wireless Communication Committee*) son parte de este esfuerzo.

4.2.2.1 3GPP (3G Partnership Projects)

En diciembre de 1998 cinco organizaciones de desarrollo de estándares: ARIB (Japón), ETSI (Europa), T1 (E.U.), TTA (Corea), y TTC (Japón), lanzaron "*La Sociedad para el Proyecto de Tercera Generación*" (3GPP). El proyecto fue encabezado por ETSI. El objetivo de 3GPP es preparar, aprobar, y mantener especificaciones técnicas aplicables globalmente para sistemas móviles de 3G, basados en redes de GSM y UTRA.

4.2.2.2 3GPP2 (3G Partnership Projects 2)

Paralelamente a 3GPP, ANSI encabezó la creación de 3GPP2. En 1999, cuatro organismos de desarrollo y estandarización: ARIB, TIA, TTA y TTC se unieron para trabajar en la preparación de las especificaciones técnicas para sistemas de 3G basados en el núcleo de red ANSI-41 y en RTT de cdma2000 (ver figura 4.5).

En forma general 3GPP2 tiene los siguientes propósitos:

- El propósito de 3GPP2 es preparar, aprobar y mantener Especificaciones Técnicas globalmente aplicables e Informe Técnico para un Sistema Móvil de 3G basado en la Red ANSI-41 y en RTT de cdma2000.
- Estas especificaciones incluyen una Red 3G basada en el Protocolo Internet (IP) que incluye el soporte de interoperabilidad de estaciones de red y móviles con la Red 3G evolucionada de ANSI-41.
- 3GPP2 también toma en cuenta las recomendaciones surgidas de los trabajos internos hechos por los miembros de la familia IMT-2000 de la UIT.

- Sirve a la Comunidad CDMA como una vía de evolución uniforme de cdma2000, de 2G a 3G mientras se extienden las capacidades 2.5G.

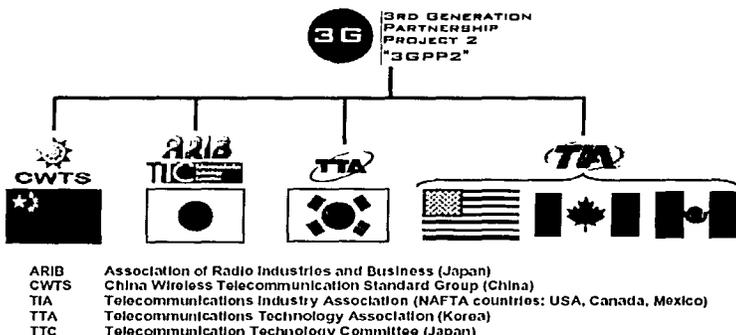


Figura 4.5: Organismos de estandarización que integran a 3GPP2.

4.2.3 Presentación de IMT-2000

Los sistemas IMT-2000 serán más que un sistema celular mejorado, ya que propone un sistema de comunicaciones universal en el cual converjan los diferentes tipos de redes, incluyendo: sistemas satelitales, macro, micro y pico sistemas celulares terrestres; además, proveerán acceso por medio de uno o varios enlaces de radio para diferentes tipos de servicios de telecomunicaciones que serán soportados por los diferentes tipos de redes públicas y privadas (PSTN, ISDN, IP) y otros servicios específicos para uso fijo o móvil (ver figura 4.6).

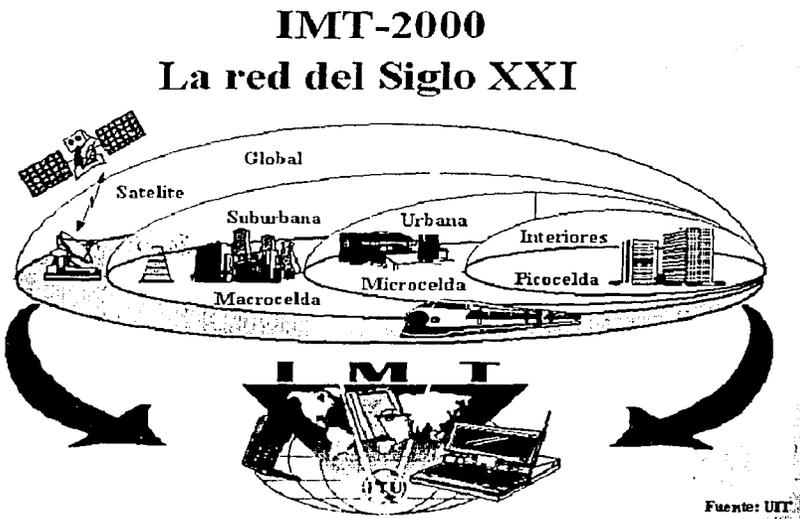


Figura 4.6: Sistemas IMT-2000.

4.2.3.1 Características generales

- Alto grado de diseño alrededor del mundo;
- Compatibilidad de servicios del IMT-2000 con las redes fijas;
- Alta calidad del servicio;
- Equipo terminal pequeño de uso mundial;
- Capacidad de roaming mundial;
- Capacidad para aplicaciones multimedia y para un amplio rango de servicios y terminales.

4.3 ESPECIFICACIONES PARA SISTEMAS DE 3G

- ✓ *Tasas de transmisión de datos altas:* 144 Kbits/s o mayor en alta movilidad (vehicular);
384 Kbits/s en poca movilidad (peatonal);
2 Mbits/s o mayor ambiente fijo o cerrado;
9.6 Kbits/s en enlaces satelitales.
- ✓ *Transmisión de datos simétrica y asimétrica:* Es decir, misma velocidad de transmisión en los enlaces de subida y bajada (simétrica), o bien diferentes velocidades en los enlaces (asimétrica).
- ✓ *Servicios de conmutación de circuitos y conmutación de paquetes,* tales como Internet Protocolo (IP) y video en tiempo real.
- ✓ *Buena calidad de voz,* comparable a la calidad de una línea telefónica.
- ✓ *Mayor capacidad y eficiencia en el uso del espectro.*
- ✓ *Varios servicios simultáneos a usuarios finales,* como servicios de multimedia.
- ✓ *Incorporación de sistemas celulares de 2G,* a fin de evitar cualquier discontinuidad entre los sistemas de segunda y tercera generación.
- ✓ *Economías de escala y un estándar global abierto* que satisfaga las necesidades del grueso del mercado.

4.3.1 Aplicaciones y servicios de 3G

Dentro de las aplicaciones y servicios que ofrecerán los sistemas de tercera generación (ver figura 4.7) se encuentran:

- Amplia gama de servicios, desde voz de banda angosta hasta de banda ancha, servicios de multimedia en tiempo real.
- Soporte de altas velocidades en la transmisión de paquetes de datos, incluyendo:
 - Internet sin limitaciones (World Wide Web, WWW);
 - Información según intereses (noticias, clima, tráfico, finanzas, etc);
 - Acceso inalámbrico y remoto a Internet/Intranets.
- Servicios de mensajería tales como e-mail.

- Aplicaciones de audio/video en tiempo real, tales como videoteléfono, videoconferencias interactivas en tiempo real, audio y música; aplicaciones especializadas de multimedia y negocios, incluyendo telemedicina, vigilancia y seguridad remota.
- Aplicaciones de comercio móvil:
 - Transacciones bancarias en movimiento;
 - Compras y ventas en movimiento.
- Aplicaciones móviles de oficina:
 - Mismos servicios de multimedia para usuarios que se encuentran en movimiento o en la oficina.
 - Servicios especializados y privados de radio-móvil.
 - Acceso a Intranet.

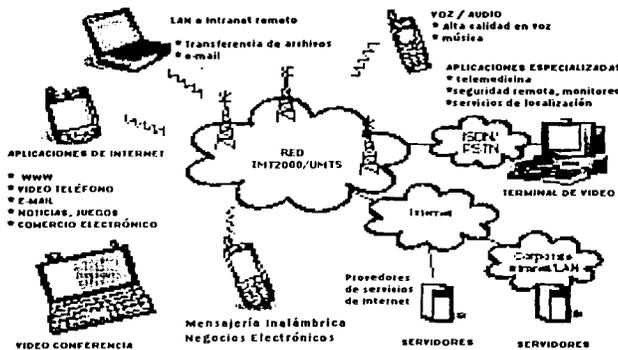


Figura 4.7: Aplicaciones y servicios de los sistemas de 3G.

4.3.2 Nuevas terminales de 3G

Los equipos más comunes de los sistemas IMT-2000 serán terminales móviles que se enlazarán a redes tanto terrestres como satelitales y las terminales serán diseñadas para uso fijo o móvil. Las nuevas terminales para soportar aplicaciones de multimedia deberán ser terminales inalámbricas, portátiles y lo suficientemente pequeñas. Estas terminales tendrán variación con respecto a las de segunda generación, principalmente en que tendrán pantallas más grandes de las actuales para desplegar páginas de Internet o el rostro de la persona con la cual estemos hablando. Habrán pequeñísimos “teléfonos inteligentes” con la capacidad de recibir e-mails. Sin dejar de mencionar los videoteléfonos (utilizados ya en Japón), comunicaciones de muñeca, etc. Nuevos sistemas los cuales permitirán a las personas controlar sus comunicaciones móviles a través de comandos de la voz. Algunos ejemplos de estas nuevas terminales se pueden observar en la figura 4.8.

4.4 REDES DE 3G

Implementar redes de 3G no solo significa estandarizar una nueva interfase de radio, ya que se requiere de nuevas tecnologías y estrategias de evolución en todos los niveles de la red. Existe un proceso de estandarización para el radio enlace de la red y otro para el núcleo de la red. La red tendrá conexiones con otras redes móviles o inalámbricas para proveer interconexión con las redes de telecomunicaciones globales,

como telefonía fija (PSTN), telefonía móvil, datos, y TV por cable (ver figura 4.9). De tal manera que diversas redes compartirán el mismo núcleo de red.

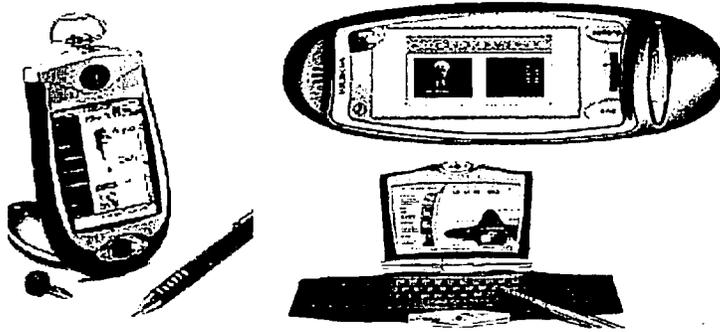


Figura 4.8: Ejemplos de nuevas terminales de 3G.

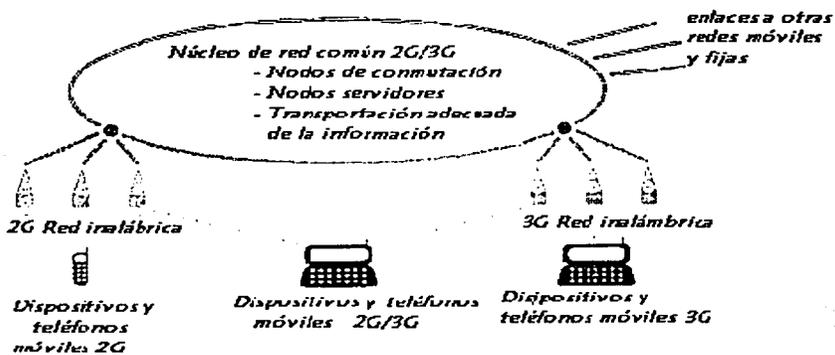


Figura 4.9: Redes de 3G.

4.4.1 Estructura de las redes de 3G

La siguiente generación se caracterizará por ser una red orientada a paquetes, que utilizará diferentes técnicas de ruteo y conmutación (ver figura 4.10) con las siguientes características:

- Red estructurada por capas, transporte y conmutación de bits.
- Una capa de conexión compuesta por un núcleo (*backbone*) común, con diferentes conexiones inalámbricas, de cobre, con accesos de fibra óptica o cable coaxial, y conexión entre redes de conmutación de paquetes (ATM/IP) y conmutación de circuitos.
- Arquitectura tipo cliente/servidor en diferentes aplicaciones.
- Desarrollo de estándares e interfases abiertas.
- Control en la entrega de los servicios finales.
- Tecnologías como ATM e IP serán utilizadas para transporte y ruteo de información.

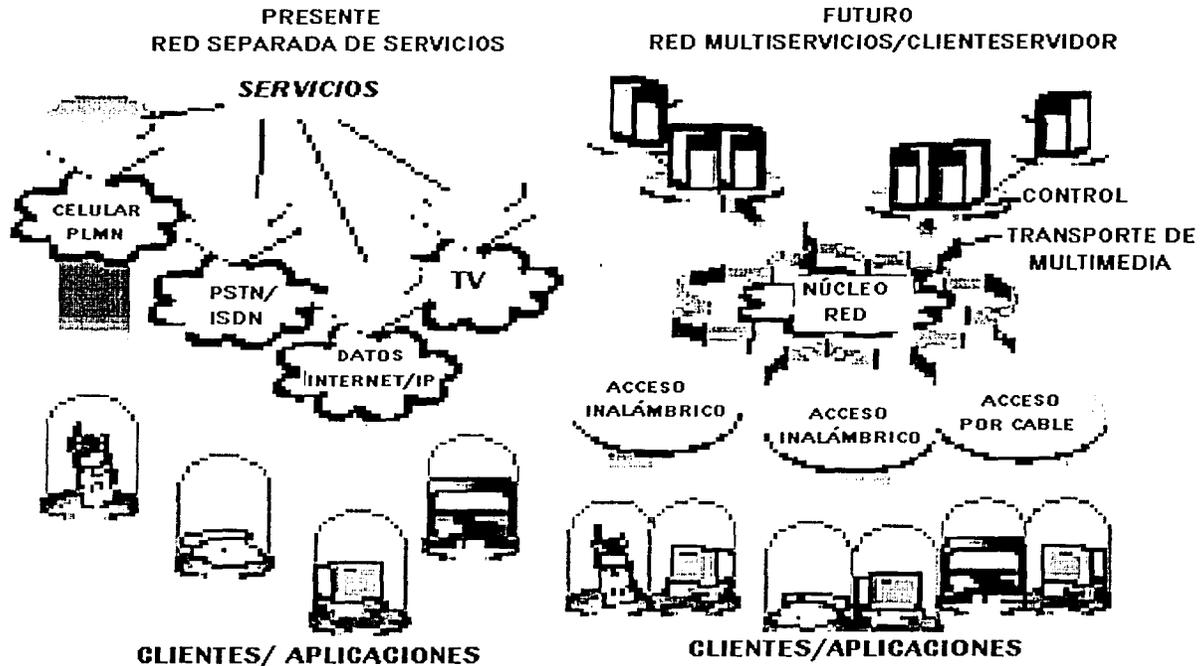


Figura 4.10: Comparación entre las estructuras de las redes actuales y futuras.

4.4.2 Conexión de multimedia móvil en la red

Por algún tiempo, las redes de conmutación por paquetes y por circuitos coexistirán, ofreciendo control absoluto en movimiento. Cada una de estas redes tienen su objetivo particular:

- La conmutación por circuitos provee de buena calidad de voz en tiempo real.
- La conmutación por paquetes provee de datos, contando siempre con servicios en línea.

Las redes de tercera generación tendrán solo dos opciones como núcleo de red: aquellas basadas en IS-41, o bien con bases en GSM-MAP. Las redes de 3G añaden una nueva red de conmutación de paquetes a la infraestructura ya existente de conmutación de circuitos, además de anexar una interfase de radio nueva o evolucionar la existente (ver figura 4.11). Los beneficios de esta red multiservicios, son una red común que comparte un mismo manejo, servicios y servidores, con una arquitectura e interfases abiertas al progreso.

4.5 ESPECTRO RADIOELÉCTRICO PARA 3G

La ubicación de espectro varía en diferentes partes del mundo, de hecho, la disponibilidad del espectro varía de operador a operador. En diversas partes del mundo, los servicios de IMT-2000 se encuentran ubicados alrededor de la banda de 2GHz. La ubicación del espectro en EE.UU. varía mucho en relación a Europa o Japón, ya que la banda propuesta para sistemas IMT-2000 se encuentra ya ocupada por sistemas de comunicaciones personales (PCS).

Aunque se haya designado ciertas bandas para los sistemas IMT-2000, esto no implica que sistemas similares puedan brindarse en diferentes bandas del espectro.



Figura 4.11: Evolución hacia las redes de 3G.

4.5.1 Bandas de frecuencias para los Sistemas IMT-2000

Debido a que la visión de IMT-2000 comprende componentes complementarios, satelitales y terrestres, se requiere espectro para cada uno de ellos. La discusión sobre espectro en la UIT, actualmente se centra en la manera como habrán de dividirse algunas bandas de frecuencias dentro del UIT-R (WP8F). IMT-2000 operará en las siguientes bandas identificadas por la UIT (ver figura 4.12):

- En la Conferencia Mundial de Radiocomunicaciones 1997 (*CMR-97*), las bandas de frecuencias de 1885-2025 MHz y 2110-2200 MHz fueron atribuidas a nivel mundial a las administraciones que desean introducir los sistemas IMT-2000, estas bandas son reconocidas como bandas núcleo.
- Posteriormente en la CMR-00 fueron atribuidas bandas de frecuencias adicionales para las IMT-2000, siendo estas:
 - 806-960 MHz (regional)
 - 1710-1885 MHz (mundial)
 - 2500-2690 MHz (mundial)
- Adicionalmente se designaron las bandas: 1980-2010 MHz y 2170-2200 MHz para la componente satelital.

4.5.2 Características de la Propuesta del Plan de Transición

- ✓ Facilita la evolución en el menor plazo de 2G a 3G en los sistemas PCS y GSM existentes, sin comprometer las inversiones hechas hasta el momento.
- ✓ Presenta una visión más realista desde el punto de vista de disponibilidad de equipo y del aspecto regulatorio, dado que se considera el gran uso de estas bandas.
- ✓ Considera una oportuna armonización regional y global.
- ✓ Proporciona flexibilidad en planeación de frecuencias.
- ✓ Considera todas las bandas IMT-2000 en 2 GHz, como un conjunto para formar una solución unificada.
- ✓ No necesariamente requiere de operaciones dúplex variable y de banda extremadamente ancha, particularmente en corto plazo.
- ✓ Puede soportar operaciones asimétricas a largo plazo.

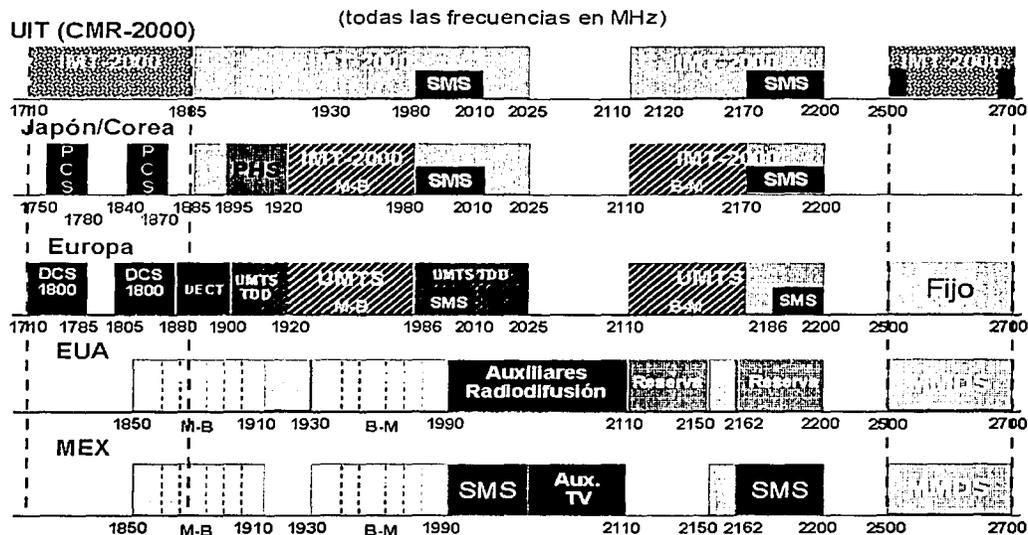


Figura 4.12: Cuadro de asignación de frecuencias para los servicios de las IMT-2000.

4.5.3 Recomendación respecto al Plan de Transición de Frecuencias para 3G

Los planes de frecuencias para 3G deben permitir la evolución en el corto plazo de los sistemas 2G hacia 3G, sin comprometer las inversiones ya efectuadas en sistemas 2G en operación, lo cual se lograría a través de la evolución de éstos en sus bandas de frecuencias de operación actual.

4.6 PROPUESTAS PARA IMT-2000

Los elementos importantes en los sistemas de 3G son *el sistema de acceso de radio y la tecnología de radiotransmisión* (RTT). En años recientes, las actividades de normalización sobre IMT-2000 se han acelerado hacia especificaciones concretas. La UIT mediante el Sector de Regulación de Radiocomunicaciones (UIT-R) hizo una formal invitación para la propuesta de candidatos en Tecnologías de Radiotransmisión (RTTs) para las IMT-2000, teniendo como fecha límite de registro el mes de junio de 1998.

A finales de junio de 1998, había 10 propuestas que se presentaron a la UIT-R como candidatos en RTTs sobre el componente terrestre IMT-2000 para los Estados Unidos, Europa, Japón, China, y Corea, estas propuestas se describen en la tabla 4.13.

La propuesta UWC-136 es la evolución a 3G de la familia de estándares IS-136, que satisfacen los objetivos de IMT-2000 para mejorar la modulación al existir 30 kHz en 136 canales (136+) y define más ancho de banda complementario para las portadoras de TDMA (136HS, soportando servicios de alta velocidad de datos) para facilitar esos servicios que no son posibles en la portadora de 30 kHz. En resumen, los principales parámetros de la propuesta UWC-136 se describen en la tabla 4.14.

Por otra parte, debido a las similitudes y diferencias de todas las propuestas RTT basadas en CDMA, en la tabla 4.15 se describen algunas especificaciones importantes de la interfaz de aire de estas propuestas. Común a casi todas la propuestas basadas en CDMA, el siguiente sistema de especificaciones / implementaciones caracteriza a los sistemas CDMA de 3G:

- ✓ CDMA de banda ancha.
- ✓ Canal piloto auxiliar coherente en el enlace de subida.
- ✓ Rápido control de potencia de lazo cerrado en el enlace de bajada.
- ✓ Diversidad de antena en la estación base (BS).
- ✓ Handoff de interfrecuencia para soportar células jerárquicas.

Tabla 4.13: Propuestas de Tecnología de Radiotransmisión para las IMT-2000.

Propuesta	Descripción	Fuente
DECT	Digital Enhanced Cordless Telecommunications	ETSI Project DECT
UWC-136	Universal Wireless Communications	USA TIA TR45.3
WIMS W-CDMA	Wireless Multimedia and Messaging Service Wideband CDMA	USA TIA TR46.1
TD-SCDMA	Time-division synchronous CDMA	China CATT
W-CDMA	Wideband CDMA	Japón ARIB
CDMA II	Asynchronous DS-SS-CDMA	S. Corea TTA
UTRA	UMTS Terrestrial Radio Access	ESTI SMG2
NA: W-CDMA	North American: Wideband CDMA	USA T1P1-ATIS
cdma2000	Wideband CDMA (IS-95)	USA TIA TR45.5
CDMA I	Multiband synchronous DS-SS-CDMA	S. Corea TTA

Tabla 4.14: Parámetros de la propuesta UWC-136.

	UWC-136	UWC-136+	UWC-136HS (exterior/vehicular)	UWC-136HS (interior)
Acceso Múltiple	TDMA	TDMA	TDMA	TDMA
Esquema de Duplexación	FDD	FDD	FDD	FDD y TDD
Espaciamento de canal	30 KHz	30 KHz	200 KHz	1600 KHz
Modulación	$\pi/4$ DQPSK	CCH: $\pi/4$ -DQPSK; TXH: $\pi/4$ -QPSK y 8-PSK (DTCH)	8-PSK, GMSK	Q-O-QAM, B-O-QAM
Longitud de trama	40 ms	40 ms	4.6 ms	4.615 ms
Número de ranuras/trama	6	6	8	64 y 72 μ s 16 y 288 μ s
Tasa total de bits	48.6 kb/s	72.9 kb/s (8PSK) 48.6 kb/s (QPSK/DQPSK)	812.5 kb/s (8-PSK) 270.8 kb/s (GMSK)	5.2 Mb/s (Q-O-QAM) 2.6 Mb/s (8-O-QAM)

Tabla 4.15: Especificaciones de la interfaz de aire para las propuestas de tercera generación basadas en CDMA.

PARAMETROS	PROPUESTAS			
	W-CDMA			
	UTRA	WCDMA/NA	WIMS W-CDMA	W-CDMA
Acceso Múltiple	FDD: DS-CDMA TDD: T/CDMA	FDD: DS-CDMA TDD: T/CDMA	FDD: DS-CDMA TDD: DS-W-CDMA (FL) DS-S-TDMA (RL)	FDD: DS-CDMA TDD: T/CDMA
Esquema de duplexación	FDD/TDD	FDD/TDD	W-CDMA FDD Mode: FDD S-TDMA TDD Mode: TDD	FDD/TDD
Tasa chip (Mc/s)	FDD: 4.096/8.192/16.348 TDD: 4.096	FDD: 4.096/8.192/16.384 TDD: 4.096	4.096 / 8.192 / 16.384	1.024/4.096/ 8.192/16.384
Longitud de trama	10 ms	10 ms	10 ms	10 ms
Canal codificado	Codificación convolucional (tasa 1/2, 1/3, k=9); codificación RS externa opcional (tasa TBD).	Codificación convolucional (tasa 1/2, 1/3, k=9); codificación RS externa opcional (R=4/5).	Codificación convolucional (FL: R=1/2, k=7, RL: R=1/3, k=9).	Codificación convolucional (R=1/2, 1/3, k=9); código turbo de R=1/3 k=3 (transmisión de datos sobre 32 kb/s).
Entrelazado	Inter/intra-trama	Inter/intra-trama	Bloque entrelazado (no da detalles)	Multitapas intra o Inter-trama
Modulación de datos	FDD: FL: QPSK, RL: doble canal QPSK; TDD: QPSK (RL&FL)	FDD: FL: QPSK, RL: doble canal QPSK; TDD: QPSK (RL&FL)	QPSK	FDD: FL: QPSK, RL: doble canal QPSK; TDD: QPSK
Modulación de expansión	FDD: QPSK (FL), QPSK (RL); TDD: QPSK (RL&FL)	FDD: QPSK (FL), QPSK (RL); TDD: QPSK (RL&FL)	QPSK	QPSK
Control de potencia	Lazo cerrado rápido, lazo abierto, y lazo externo; tamaño de paso: FDD: 0.25-15 dB; TDD: 1.5-3 dB; ciclos de control de potencia: 1600/s (FDD) 100-800/s (TDD).	FDD: lazo cerrado rápido y lazo externo (RL&FL); tamaño de paso: FDD: 0.25-1.5 dB; TDD: 2 dB; ciclos de control de potencia: 1600/s (FDD) 100-800/s (TDD).	Control de potencia adaptable; tamaño de paso: 1 dB nominal; Ciclos de control de potencia: 1600/s.	FDD: RL: lazo cerrado, lazo abierto; FL: lazo cerrado y lazo externo agregados. TDD: RL&FL: lazo cerrado; Tamaño de paso 1 dB; Ciclos de control de potencia: FDD: 1600/s TDD: 800/s.
Diversidad	Receptor RAKE tanto en la BS y la MS; diversidad de antena tanto en BS y MS; diversidad de transmisión (TBD).	Receptor RAKE tanto en BS y MS; diversidad de antena en BS y opcional en MS.	Receptor RAKE tanto en BS y MS; diversidad de antena en BS.	Receptor RAKE, diversidad de antena en BS y opcional en MS.
Sincronización Inter-BS	FDD: No necesita sincronización exacta. TDD: Síncrono.	FDD: No necesita sincronización exacta. TDD: Síncrono.	No sincronizado	FDD: No necesita sincronización exacta. TDD: Síncrono
Detección	MS&BS: símbolo piloto basado en detección coherente.	MS&BS: símbolo piloto basado en detección coherente.	Detección coherente	MS&BS: símbolo piloto basado en detección coherente.

Tabla 4.15: Especificaciones de la interfaz de aire para las propuestas de tercera generación basadas en CDMA. (continuación)

PARAMETROS	PROPUESTAS			
	W-CDMA	CDMA2000		
	TD-SCDMA	Cdma2000	CDMA I	CDMA II
Acceso Múltiple	TDMA/CDMA	FDD: DS-SSMA TDD: T/CDMA	DS-SSMA	DS-SSMA
Esquema de duplexación	TDD	FDD/TDD	FDD	FDD
Tasa chip (Mc/s)	1.1136	1.2288xN Mcps (NX)	0.9216/3.6864/ 14.7456	1.024/4.096/ 8.192/16.384
Longitud de trama	5 ms	20/5 ms	10 ms	10 ms
Canal codificado	Codificación convolucional (R=3/4, k=9); código RS externo opcional; código turbo de k=4, R=1/2 (preferido para tasa de datos más grande que el servicio NRT de 19.2 kb/s).	Codificación convolucional (R=1/2, 1/3, 1/4, k=9); código turbo de R=1/2, 1/3, 1/4, y k=4 (preferido para el período de transmisión sobre 14.4 kb/s en el canal suplementario).	Codificación convolucional R=1/2, 1/3, 1/4, 1/6; Código RS externo opcional (47,41).	Codificación convolucional (R=1/2, 1/3, 1/4, 1/6, k=9), selección de la FEC para tasa de datos bajas, código turbo de R=1/3 y k=3 para altas tasas de datos y paquetes de datos.
Entrelazado	Inter-trama	Intra-trama	Intra-trama	Intra-trama
Modulación de datos	DQPSK, y 16QAM para alta tasa de datos	QPSK (FL) BPSK (RL)	FL: QPSK RL: BPSK	QPSK (FL) BPSK (RL)
Modulación de expansión	BPSK	QPSK	QPSK (FL) OCQPSK (RL)	FL: QPSK RL: OCQPSK (CDTCH, ACCH)/ CQPSK(UPCH)
Control de potencia	RL: lazo abierto y lazo cerrado; tamaño de paso: 1 dB; ciclos de control de potencia: 200/s.	FDD: lazo abierto y lazo cerrado Rápido, FER basado el lazo externo (RL) TDD: lazo abierto Tamaño de paso: 1.0 dB nominal, opcional 0.5/2.5 dB Ciclos de control de potencia: 800/s nominal.	RL: lazo abierto y lazo cerrado; FL: lazo cerrado; Ciclos de control de potencia: 1600/s.	RL: lazo abierto y lazo cerrado; FL: lazo cerrado; FER basado en lazo externo; tamaño de paso: 1 dB; ciclos de control de potencia: 1600/s.
Diversidad	Una pequeña antena con un arreglo de 8 elementos en BS.	Receptor RAKE tanto en BS y MS; diversidad de antena en BS y opcional en MS; la diversidad de retardo pudiera ser usada para tanto MS y BS.	Receptor RAKE, diversidad de antena en BS; diversidad de transmisión en conmutación de tiempo para FL.	Receptor RAKE, diversidad de antena, diversidad de transmisión en conmutación de tiempo para FL.
Sincronización Inter-BS	Sincronizado	Sincronizado	Modo síncrono; Modo asíncrono.	Asíncrono; la operación síncrona es también posible.
Detección	Detección coherente	Detección coherente, MS&BS basadas en el canal piloto.	Detección coherente, BS&MS: basadas en el canal piloto.	Detección coherente, BS: basada en el símbolo piloto, MS: basada en el canal piloto.

Después de haber presentado estas propuestas a la UIT, la industria y los cuerpos de normalización han coordinado sus esfuerzos para armonizar los candidatos IMT-2000 y llegar a un juego más pequeño de normas de tercera generación. La actividad de armonización más reciente fue iniciada por el Grupo de Armonización de Operadores (OHG), un grupo de operadores principales de todas partes del mundo que operan distintas variantes de sistemas de segunda generación. La OHG fijó el marco para las normas de tercera generación:

1. Deben haber tres modos de interfaz de radio basados en CDMA:
 - CDMA de dispersión directa (DS) o también llamado WCDMA;
 - CDMA de Portadora Múltiple (MC) o también conocido como cdma2000;
 - Duplexación por División de Tiempo (TDD).
2. Todos los modos de red de acceso de radio deben poderse conectar a cualquiera de los tipos de núcleo de red: GSM/MAP ó IS-41 (modo circuito y de conmutación por paquetes).

Finalmente, en el análisis de las propuestas RTT W-CDMA, UTRA, cdma2000, y W-CDMA/NA, restringimos nuestro enfoque al modo de operación FDD, ya que el modo TDD comparte características igualmente importantes.

4.6.1 Propuesta Europea

En la propuesta UTRA, se adopta en el enlace de subida un canal doble con modulación QPSK (*Quadrature Phase Shift Keying*), donde los canales DPDCH y DPCCH del enlace de subida son mapeados por los canales I y Q, respectivamente. Los canales I y Q son esparcidos a la tasa chip con dos diferentes códigos de canalización, y en seguida se revuelven complejamente con un código complejo de la MS específica. Para la transmisión multicódigo, cada DPDCH adicional del enlace de subida puede transmitirse ya sea en el canal I o Q. Otros códigos cortos o largos de revolvimiento (*scrambling*) deben ser usados en el enlace de subida. Los códigos cortos de revolvimiento son generados de la serie extendida VL-Kasami de longitud 256. Dado que esta serie de códigos incluye más de uno millón de códigos diferentes, no se necesita una extensa planeación de ellos. Los códigos largos son generados de las sucesiones o series Gold de longitud $2^{41}-1$, y típicamente son usados en células sin detección multiusuario en la BS con el fin de mejorar las propiedades de correlación. A diferencia de lo anterior, los canales DPDCH y DPCCH del enlace de bajada son multiplexados en el tiempo y posteriormente modulados con QPSK. Los canales I y Q son esparcidos a la tasa chip con el mismo código de canalización, y después se revuelven con el mismo código largo real de la célula específica generado de las sucesiones Gold de $2^{18}-1$: binario PSK (BPSK) esparcido. Tanto para el enlace de bajada y subida, los códigos de canalización son factores esparcidos de variable ortogonal (OVSF) que pueden definirse usando una estructura de árbol de código. El esquema de modulación y esparcimiento de la propuesta UTRA se muestra en la figura 4.16.

4.6.2 Propuestas Norteamericanas

Cdma2000 usa QPSK para la modulación de datos en cada canal físicos del enlace de bajada. Los símbolos modulados son esparcidos con un código Walsh para proporcionar canalización ortogonal entre los diferentes canales y usuarios, y después son revueltos con una secuencia de pseudo ruido (PN) compleja de la célula específica. La longitud de los códigos Walsh varía según la tasa de datos. Las funciones cuasi-ortogonales pueden usarse cuando se presenta un código Walsh límite. En el enlace de subida, como se muestra en la figura 4.17, cada canal físico es primeramente esparcido con un código Walsh para proporcionar canalización ortogonal. Después de esparcir el canal piloto y el canal de control dedicado, estos son mapeados dentro del

canal I; de igual forma, después de esparcir el canal fundamental y el canal suplementario estos son mapeados dentro del canal Q. Los canales suplementarios adicionales pueden ser acomodados incrementando el código Walsh del canal suplementario a 8 bits, y mapeando los canales R-SCH adicionales con el canal I o Q. Los canales I y Q son esparcidos con una sucesión de PN compleja. Esta sucesión es generada por secuencias PN del canal I/Q con un periodo de 2^{15} chips, y un código largo específico de la MS con periodo de $2^{31}-1$ chips.

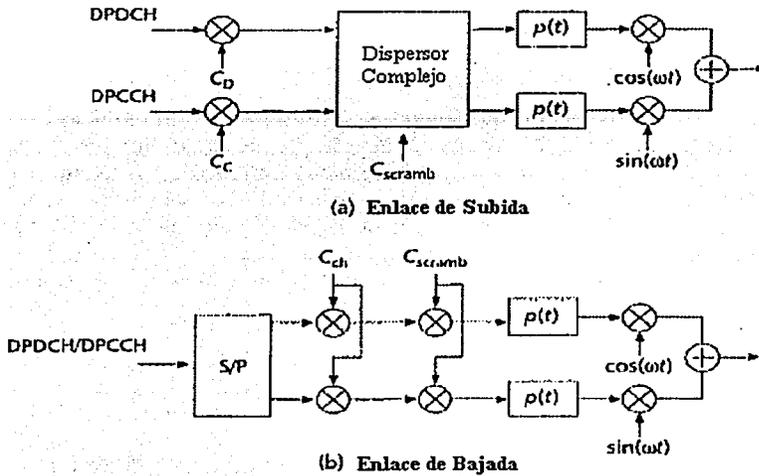


Figura 4.16: Esquema de modulación / esparcimiento de la propuesta UTRA.

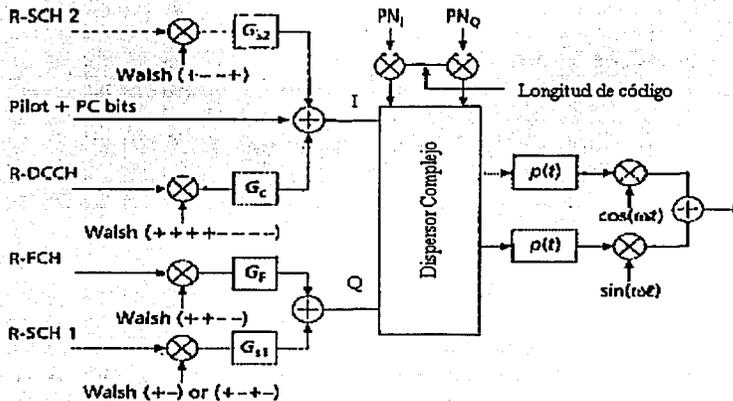


Figura 4.17: Estructura del canal dedicado de subida para la propuesta cdma2000.

La segunda propuesta norteamericana es W-CDMA/NA y esta basada en la tecnología de radiotransmisión ETSI desarrollada entre TTIPI, ETSI, y ARIB. Tiene casi la misma modulación y configuración de esparcimiento que UTRA. La única diferencia es que en el enlace de subida un código de revolvimiento secundario (generado por las sucesiones Gold) puede usarse opcionalmente para un revolvimiento más exten-

so; por otro lado, el código de revolvimiento (*scrambling*) primario es generado de la serie extendida VL-Kasami.

En la propuesta norteamericana WIMS W-CDMA de modo FDD, se adopta QPSK/QPSK para la modulación de datos/esparcimiento, tanto para el enlace de bajada y subida. Los códigos residuales cuadráticos ortogonales modificados (*Orthogonal Modified Quadratic Residue*) son usados para canalización y los códigos de PN largos son usados para el revolvimiento complejo.

4.6.3 Propuesta Japonesa

En la propuesta W-CDMA de ARIB, la configuración de esparcimiento y modulación del enlace de subida es similar a la propuesta UTRA, excepto que sólo los códigos largos de revolvimiento son usados. Sin embargo, cierta modificación ha sido hecha a la configuración del enlace de bajada. Dado que el esparcimiento BPSK conduce a tener degradación de desempeño debido a la conversación cruzada (*crossstalk*) I/O (debido al error de fase en el receptor), los códigos largos complejos específicos de la célula (generados por la sucesión Gold) son usados para revolver (*scrambling*) en el enlace de bajada. El esparcimiento complejo también ayuda a reducir la potencia pico promedio y de esta manera mejorar la eficiencia de la potencia.

4.6.4 Propuestas Coreanas

Las propuestas CDMA I y II adoptan QPSK para la modulación de datos en cada canal físico en el enlace de bajada. Los símbolos modulados son entonces esparcidos con un código de canalización y revueltos complejamente con un código de PN complejo específico de la célula. En CDMA II, el índice del canal piloto es revuelto independientemente con un código de PN complejo con un período más corto. En el enlace de subida, ambas propuestas usan BPSK para la modulación de datos y código ortogonal QPSK (*OCQPSK*) para la modulación de esparcimiento. OCQPSK proporciona un beneficio significativo para reducir los requerimientos lineales del amplificador de potencia y así, mejorar la eficiencia de la potencia. En este esquema, cada canal físico es esparcido con un código corto de canalización y agrega a otros la sección (*branch*) I o Q, respectivamente. Después los canales I y Q son multiplicados por un código corto complejo que usa un par de códigos cortos ortogonales con sus partes reales e imaginarias, y posteriormente se revuelven por un código PN largo real específico del móvil. Códigos Walsh y códigos de capas (*layered*) ortogonales son usados para la canalización en CDMA I y en CDMA II, respectivamente.

Adicionalmente, CDMA II emplea OMRS (*One-chip Miltipath Resistant Spreading*) para el canal de paquete de usuario (*user packet channel*) (UPCH) del enlace de subida, para reducir la interferencia cocanal intracélulas en un ambiente de multitrayectoria. La figure 4.18, ilustra la estructura del canal UPCH en el enlace de subida para el usuario k con el esquema OMRS.

4.6.5 Propuesta China

En la propuesta TD-SCDMA, el esquema básico de modulación de datos es diferencial QPSK (*DQPSK*). Sin embargo, para altas tasas de datos, se emplea 16-QAM (*Quadrature Amplitude Modulation*). La modulación de expansión usa simplemente BPSK. Los códigos Walsh de longitud de 16 bits son usados para canalización, y los códigos de PN de longitud de 256 chips se usan para el revolvimiento.

4.7 EVOLUCION A CAPACIDADES DE 3G

Además de las actividades de 3G, IS-95, GSM, y IS-136 han seguido evolucionando para cumplir con los requerimientos de IMT-2000/UMTS. Esta evolución hará posible la introducción de un subconjunto de servi-

cios de IMT-2000 dentro de los sistemas actuales de 2G. Un revolucionario acceso de ancho de banda de 3G, proveerá un conjunto completo de servicios IMT-2000 con incremento en la eficiencia del espectro y la flexibilidad. A continuación, se describe brevemente las tendencias evolutivas de estos sistemas.

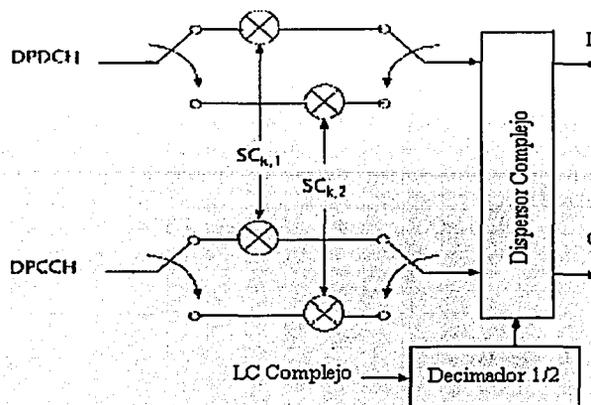


Figura 4.18: Esquema OMRS para el canal UPCH del enlace de subida de la propuesta CDMA II.

4.7.1 Evolución IS-95

La próxima fase en el mejoramiento de la velocidad de datos para los sistemas IS-95 (cdmaOne) es parte de las especificaciones IS-95B de la TIA. La nueva característica de alta velocidad de datos en IS-95B permite al sistema CDMA facilitar servicios de tasa media de datos (*MDR*) arriba de 115.2 Kb/s, agregando 8 canales (máximo) de tráfico CDMA para la transmisión de paquetes de datos. Se prevé que un operador sostendrá tasas de datos inicialmente entre 28.8 y 57.6 Kb/s en el enlace de bajada, y 14.4 Kb/s en el enlace de subida. La transferencia de llamada suave y el MAHO (*Mobile-assisted interfrequency handoff*) mejorarán debido a que IS-95B emigrará hacia un sistema de mayor capacidad. Mirando más hacia adelante, se espera que IS-95C (cdma2000 1x) posibilite el servicio MDR de IMT-2000, duplique la capacidad del sistema cdmaOne, y aumente el tiempo de espera. La normalización de IS-95C está progresando rápidamente para las versiones de un solo portador y la de tres multiportadoras de la norma cdma2000. La opción de multiportadoras en el enlace de bajada es la más atractiva para los operadores IS-95 existentes, ya que permite una migración uniforme hacia los sistemas de 3G sobre el espectro existente.

4.7.2 Evolución de GSM

La segunda fase (2+) de la evolución de GSM se está llevando a cabo actualmente. Dentro de los perfeccionamientos importantes se incluyen el servicio de *alta velocidad de datos en el circuito de conmutación* (HSCSD) que facilita tasas de datos arriba de 57.6 Kb/s usando cuatro ranuras de tiempo, *elementos de llamada de avanzada conversación* (ASCI, Advanced Speech Call Items), tecnologías de red inteligente (*IN*) introducidas por la CAMEL (*Customized Application for Mobile Enhanced Logic*), servicio de mensaje corto reforzado (*SMS*), y el Servicio de Radio General de Paquetes (*GPRS*) de alta velocidad. GPRS es un importante servicio de datos para GSM que permite completa movilidad y amplía área de cobertura con tasas de datos arriba de 115.2 Kb/s, soportando tanto al Protocolo Internet y al X.25. Más allá de la segunda fase (2+) de GSM, ETSI ha decidido desarrollar el sistema EDGE (*Enhanced Data Rates for GSM Evolution*) como una evolución futura de GSM usando la misma asignación del espectro actual.

Los aspectos en común entre EDGE y GSM en términos de portadora de banda ancha (200 kHz), tasa de símbolos (270.833 Ksímbolos/s), y el formato de la trama (8 ranuras TDMA/4.6 ms de trama) son beneficiosos cuando diseñamos terminales multimodo.

4.7.2 Evolución de IS-136

La perspectiva futura para IS-136 se especifica en la Revisión IS-136B. Dentro de las mejoras ofrecidas en comparación a las características actuales de la Revisión IS-136A se incluye el uso del más alto nivel de modulación (8-PSK) para más alta capacidad de carga útil (*payload*) para la portadora existente de 30 kHz, apoyo de GPRS basado en paquetes de datos, mejora de la calidad de voz usando el vocoder US1, y la funcionalidad de Red Inteligente (*IN*).

Finalmente, se resalta que EDGE representa la convergencia de GSM y IS-136 hacia los ambientes vehicular /exterior, y provee una ruta de evolución de los sistemas celulares existentes para que alcancen los requerimientos de IMT-2000.

4.7.4 Evolución desde 1G hasta 3G

En resumen, en la figura 4.19 se describe la evolución tecnológica que han tenido los sistemas de comunicaciones móviles. Así también, en la figura 4.20 se presenta el mapa de evolución hacia tercera generación con la presencia de una generación intermedia (2.5) que en algunos casos es opcional.

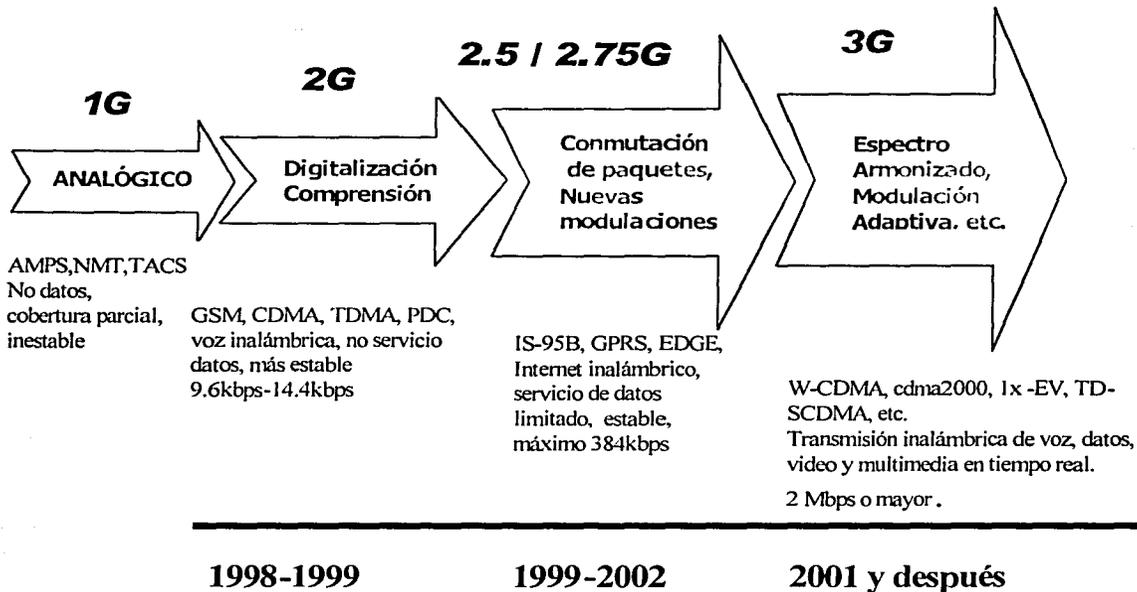


Figura 4.19: Evolución tecnológica de los sistemas de comunicaciones móviles.

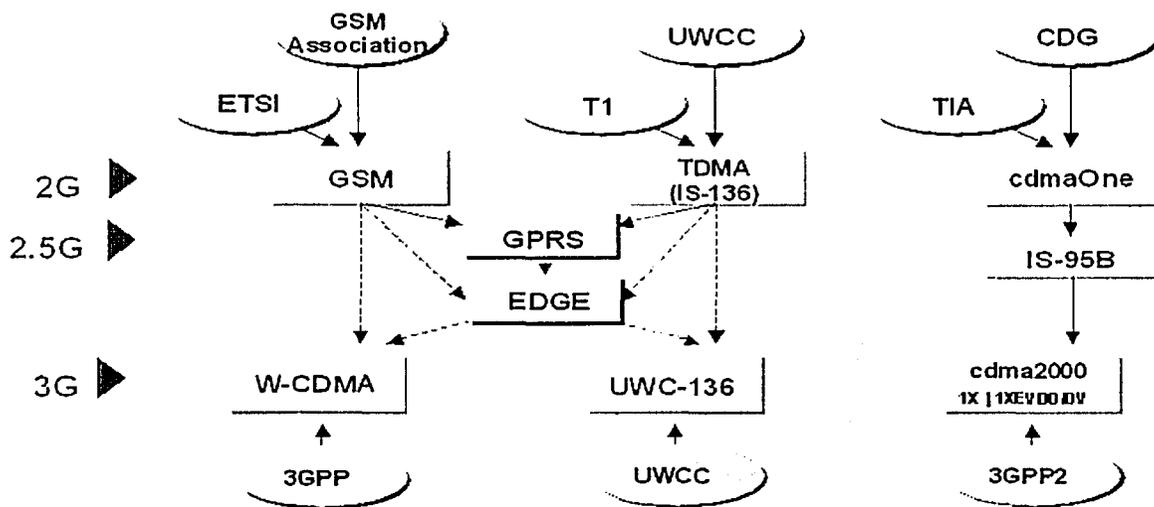


Figura 4.20: Mapa de evolución hacia la 3G.

ESTA TESIS NO SALI
DE LA PUBLIQUIDAD

CAPÍTULO 5

Ambiente de Radio Propagación

5.1 INTRODUCCIÓN

En un sistema inalámbrico, ya sea celular, satelital, fijo, etc., la característica común a todos es el uso del mismo canal como medio de comunicación, el aire. Sin importar qué tipo de servicio se proveerá con cada uno, la señal al viajar por este medio sufrirá una degradación al momento de ser recibido en el receptor con respecto a como fue transmitida la señal en un inicio. Esta degradación puede ser un cambio en la amplitud de la señal, de la fase o de la frecuencia.

Dada la importancia que tienen actualmente estos sistemas por los servicios que ofrecen, se ha realizado una extensiva investigación para modelar el comportamiento de la señal para cada uno de estos sistemas, partiendo todos de la relación portadora a ruido en el receptor. De forma particular a cada uno de ellos, se han desarrollado modelos específicos que nos ayudan a diseñar mejor el enlace que existirá entre transmisor y receptor.

El conocimiento de las características de Radio Propagación es un requisito indispensable para el diseño de un sistema de radio comunicaciones, es por ello la importancia de éste estudio.

5.2 PROPAGACIÓN DE RADIO MÓVIL

La mayoría de los sistemas de radio celular operan en áreas urbanas, donde no existe trayectoria de línea de vista directa (LOS) entre transmisor y receptor, y donde la presencia de edificios altos causa severas pérdidas por difracción. La variación de potencia en la trayectoria desde el transmisor hasta el receptor, puede ser mínima si existe línea directa de vista entre el Tx y Rx, o bien muy grande ante la presencia de edificios, montañas o follajes (ver figura 5.1). Debido a las múltiples reflexiones, las ondas electromagnéticas viajan a través de diferentes trayectorias con diferentes longitudes. La interacción entre estas ondas causa *desvanecimientos de multitrayectoria* en una ubicación específica, y la intensidad de las ondas se decrementa cuando la distancia entre el transmisor y el receptor incrementa.

El fenómeno de disminución de la potencia recibida debido a reflexiones, difracciones alrededor de estructuras, y refracciones dentro de ellas es conocido como "pérdidas de trayectoria". Los tres mecanismos básicos más importantes que impactan en la propagación de las ondas electromagnéticas en un sistema de comunicación móvil son: *la reflexión, la difracción y la dispersión*. Los desvanecimientos cortos y la propagación de multitrayectoria también pueden ser descritos con estos tres mecanismos de propagación.

✓ **Reflexión.** Ocurre cuando una onda electromagnética que se propaga choca contra un objeto con dimensiones muy grandes comparadas con su longitud de onda, lo que origina un cambio en su dirección de propagación. Las reflexiones por difracción se presentan con la superficie de la tierra, así como con edificios y estructuras grandes.

✓ **Difracción.** Se presenta cuando la trayectoria de radio propagación entre el Tx y el Rx es obstruida por una

superficie que tiene formas angulosas para la longitud de onda, provocando que la onda rodee el obstáculo. A altas frecuencias, la difracción y la reflexión, dependen de la geometría de los objetos, así como de la amplitud, fase y polarización de la onda incidente en el punto de difracción.

✓ **Dispersión.** Ocurre cuando el medio a través del cual viaja la onda consiste de objetos con dimensiones que son pequeñas comparadas a su longitud de onda, y donde el número de obstáculos por unidad de volumen es alto. Las ondas dispersadas son producidas por superficies rugosas y objetos pequeños. En la práctica, los señalamientos de las calles y avenidas, así como los postes inducen dispersiones en los sistemas de comunicaciones móviles.

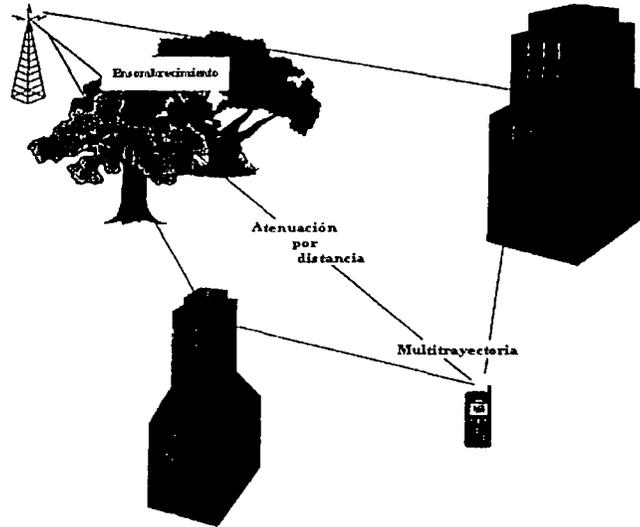


Figura 5.1: Pérdidas de trayectoria, ensombrecimiento y desvanecimiento de multitrayectoria

5.3 MODELOS DE PROPAGACIÓN

Los modelos de predicción de intensidad de señal están basados usualmente en algunos de los modelos de pérdidas por propagación modificados por parámetros obtenidos de mediciones de campo. Los modelos toman en cuenta información sobre la topografía del terreno, incluyendo la orografía (descripción de las montañas), y la morfología, o sea la descripción del uso del suelo (área urbana, bosque, área abierta, agua, etc).

La elección del modelo dependerá principalmente de la calidad que se quiera obtener una estimación aproximada o una predicción precisa. Más aún, la disponibilidad de la información jugará en esto un papel muy importante. De acuerdo con esto, los algoritmos pueden escogerse dentro de un rango que va de ecuaciones triviales a software muy sofisticado y costoso. Adicionalmente, se deben llevar a cabo mediciones en campo, con el fin de validar los modelos. Este paso requiere que los parámetros sean reajustados.

Los modelos de propagación que predicen la intensidad de señal para una distancia de separación arbitraria entre transmisor y receptor, y que son utilizados para la estimación del área de cobertura de radio propagación de un transmisor son llamados **modelos de propagación de gran escala**, debido a que caracterizan la intensidad de la señal sobre grandes distancias de separación entre transmisor y receptor (de cientos de metros a varios kilómetros).

Los **modelos de propagación de escala media** determinan los cambios graduales, por ejemplo si la antena

receptora es movida por encima de algunas decenas o cientos de metros. La variación de escala media de la potencia de la señal recibida se conoce como “ensombrecimiento” (*shadowing*), y es causada por obstrucciones de árboles o follaje. El término *potencia local* se utiliza para referirse al nivel de potencia de la señal medido a partir de unas decenas de longitudes de onda, típicamente 40λ .

Los **modelos de referencia de pequeña escala** caracterizan la variación rápida de la potencia de la señal a pequeñas distancias, del orden de algunas longitudes de onda, o durante pequeños periodos de tiempo del orden de segundos.

Además del estudio realizado con los modelos para el ambiente de propagación, es necesario entender el comportamiento de las terminales inalámbricas móviles en cada uno de los diferentes ambientes.

5.4 DESVANECIMIENTOS Y CANAL DE MULTITRAYECTORIA

En la práctica, la comunicación entre una estación base y un teléfono móvil en un medio inalámbrico rara vez se realiza con línea de vista directa, debido a condiciones tales como la topografía y morfología del terreno o por la obstrucción de casas o edificios, o estructuras hechas por el hombre, o simplemente por objetos naturales como bosques que rodean a la unidad móvil. Consecuentemente, la señal de RF proveniente de la estación base es dispersada por la reflexión y la refracción, alcanzando al receptor a través de muchas trayectorias sin línea de vista. En este medio de no línea de vista surgen los fenómenos de *desvanecimiento corto* y *desvanecimiento largo* que se manifiestan como variaciones en la intensidad de la señal recibida.

La propagación de multitrayectoria puede producir fluctuaciones en la señal recibida, esto se debe a que los trayectos tienen diferentes longitudes lo que se traduce como retardos. La figura 5.2 muestra un ejemplo de un perfil potencia-retardo de un canal multitrayecto que está constituido por una señal que toma tres diferentes trayectorias. Dependiendo de la fase con que llegue cada señal de multitrayectoria en el receptor, éstas se suman de manera constructiva o destructiva. Consecuentemente la potencia en cada trayecto varía en el tiempo, dando como resultado diferentes caídas de desvanecimientos, como se observa en la figura 5.3.

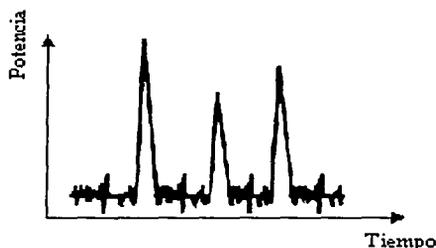


Figura 5.2: Respuesta impulso de un canal de multitrayectoria.

La intensidad de este desvanecimiento depende del tipo de canal. La distribución de la potencia instantánea en el canal se puede describir con una función de distribución, que depende del ambiente de radio. En un canal con desvanecimiento tipo Rayleigh, todas las trayectorias son independientes y no existe una trayectoria dominante, éste es el caso con mayor desvanecimiento, en el cual se presentan desvanecimientos muy profundos. En un canal Rician el desvanecimiento es menor, debido a que posee una trayectoria dominante en conjunto con las trayectorias dispersantes. Este último normalmente se presenta en microcélulas y picocélulas.

Los conceptos de tiempo de retardo esparcido, ancho de banda de coherencia, dispersión Doppler, y tiempo de coherencia, son utilizados para modelar los diferentes efectos en un canal multitrayecto:

- **Tiempo de retardo esparcido:** Es un fenómeno natural causado por las trayectorias de propagación

del canal de radio reflejas y dispersadas. Es el tiempo de retardo entre el arribo de la señal 1 y la señal 2. La señal 1 puede ser con LOS o sin ella; si la señal 1 es con LOS, entonces manifiesta las características del desvanecimiento Rician; si la señal 1 es irregular, entonces manifiesta las características del desvanecimiento Rayleigh.

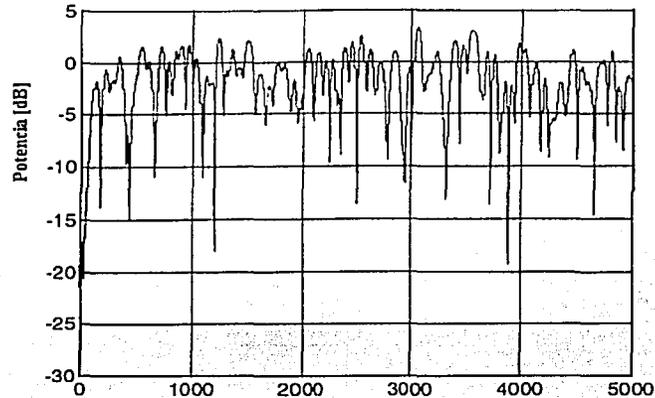


Figura 5.3: Desvanecimiento de canal.

- **Ancho de Banda de Coherencia:** Sea una señal de radio con un ancho de banda dado, debido a los efectos de las multitrayectorias, cada componente de frecuencia de la señal puede alcanzar al móvil con diferentes tiempos de retardo. Debido a esto, es esencial determinar la máxima separación en frecuencia para la cual las señales se consideran aún correlacionadas. Esta separación en frecuencia es a lo que llamamos *ancho de banda de coherencia*. Este ancho de banda es inversamente proporcional al tiempo de retardo esparcido:

$$B_{\text{COHERENCIA}} = \frac{1}{2\pi\Delta t} \quad (5-1)$$

$$\begin{aligned} B_{\text{COHERENCIA}} &= \text{Ancho de banda de coherencia} \\ \Delta t &= \text{Tiempo de retardo esparcido} \end{aligned}$$

- **Efecto Doppler.** Se refiere a la variación en frecuencia de la portadora experimentada por un móvil desplazándose bajo las condiciones del espacio libre.

$$f_D = f_{TX} - f_{RX} \quad (5-2)$$

donde:

f_{TX} = Frecuencia transmitida por la estación base

f_{RX} = Frecuencia recibida en la estación móvil

f_D = Frecuencia Doppler.

- **Tiempo de Coherencia:** El tiempo de coherencia es el valor por encima del cual las características del canal no cambian significativamente. El tiempo de coherencia está relacionado con el diseño de esquemas de estimación de canal en el receptor, corrección del error, esquemas de control de potencia. El tiempo de coherencia está usualmente definido como el intervalo de tiempo requerido para obtener una intensidad de señal con una correlación de 0.7 a 0.9. El tiempo de coherencia es in-

versamente proporcional al máximo de la frecuencia Doppler (máxima frecuencia de atenuación).

$$\tau_{\text{COHERENCIA}} = \frac{1}{2\pi f_D} \quad (5-3)$$

$\tau_{\text{COHERENCIA}}$ = Tiempo de coherencia
 f_D = Máxima frecuencia Doppler

Si el ancho de banda de transmisión de la señal es más grande que el ancho de banda de coherencia, la señal sufrirá un desvanecimiento selectivo de frecuencia; mientras que, si el ancho de banda de transmisión es más pequeño que el ancho de banda de coherencia se obtendrá un desvanecimiento plano (*flat*). Como puede entenderse de lo anterior, el tiempo de retardo de dispersión y el ancho de banda de coherencia son diferentes características del desvanecimiento del canal multitrayecto. El ancho de banda de coherencia es una medida de la diversidad disponible en un receptor RAKE o igualador. Un pequeño ancho de banda de coherencia significa una mayor diversidad. Esto se ilustra en la figura 5.4, donde sólo una parte de la portadora de frecuencia sufre desvanecimiento.

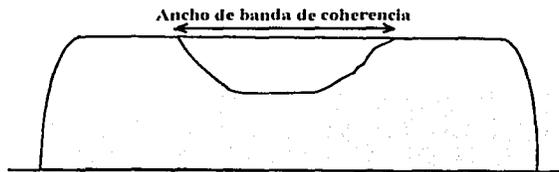


Figura 5.4: Ancho de banda de coherencia y desvanecimiento.

Si el ancho de banda de coherencia fuera tan grande como el ancho de banda de la transmisión, entonces todo el espectro recibido se observaría con desvanecimiento. El tiempo de retardo de dispersión máximo puede usarse para calcular cuántas trayectorias de solución existen en el canal que podrían usarse en el receptor RAKE.

El movimiento de la estación móvil da una elevación en la dispersión Doppler, que es el ancho del espectro observado cuando una portadora demodulada se transmite. Si sólo hay una trayectoria de la unidad móvil a la estación base, la estación base observará un cero de dispersión Doppler en combinación con un cambio simple de la frecuencia de portadora (cambio de frecuencia Doppler). La frecuencia Doppler varía dependiendo del ángulo de movimiento de la estación móvil con respecto a la estación base. A el rango de valores cuando el espectro de potencia Doppler es diferente de cero se le llama dispersión Doppler.

5.5 AMBIENTES DE RADIO PROPAGACION

Existe un gran número de ambientes de operación donde se espera trabajarán los sistemas de 3G. Estos incluyen ciudades grandes y pequeñas, con edificios de diferentes alturas y diferentes materiales, así como áreas tropicales, rurales, desiertos y montañas. Dado que es imposible considerar todos los posibles ambientes de operación para la construcción de un sistema de comunicaciones móviles, se requiere de modelos más generales que consideren la esencia de éstos ambientes. Por consiguiente, el gran número de posibles ambientes se han englobado en tres ambientes de radio propagación generales:

- Ambiente Vehicular;
- Ambiente de Exteriores a Interiores y Peatonal;

- Ambiente de Interior de Oficina.

Estos ambientes de radio propagación corresponden a los siguientes tres tipos de células: macrocélula, microcélula y picocélula, respectivamente.

5.5.1 Ambiente Vehicular

El ambiente vehicular se caracteriza por grandes macrocélulas y altas potencias de transmisión. Generalmente no existe línea de vista, lo cual implica que la señal recibida está compuesta de reflexiones. La potencia promedio de la señal recibida decrece exponencialmente cuando la distancia aumenta. El exponente de pérdida varía según el ambiente, pero generalmente va de 3 a 5.

El ensombrecimiento (*shadowing*) es causado por la obstrucción de árboles y follajes, y la variación resultante de escala media en la potencia de la señal recibida se puede modelar con una distribución log-normal.

5.5.2 Ambiente de Exteriores a Interiores y Peatonal.

La figura 5.5 muestra este ambiente, el cual es caracterizado por pequeñas microcélulas y baja potencia de transmisión. Las antenas se localizan a la altura de las azoteas o por debajo de ellas. Existen ambas conexiones: con línea de vista (*LOS*) y sin línea de vista (*NLOS*). La cobertura en interiores también puede ser provista por una estación base de exteriores.

Por otra parte, la figura 5.6 muestra un ejemplo de la atenuación producida por pérdidas de trayectoria. El exponente de pérdidas de trayectoria tiene grandes variaciones que van desde 2 en áreas con *LOS* hasta 6 con *NLOS*, ambos casos debidas a árboles y otras obstrucciones a lo largo de la trayectoria. Sin embargo, una estación móvil puede experimentar una repentina baja (de 15 hasta 25 dB) cuando éste se mueve alrededor de una esquina. La desviación estándar del ensombrecimiento varía de 10 a 12 dB, y la pérdida promedio debido a la penetración en edificios se considera como 12 dB, con una desviación estándar de 8 dB. El desvanecimiento de pequeña escala es de distribución Rayleigh o Rician, con un tiempo de retardo esparcido del orden de 0.2 μ s.

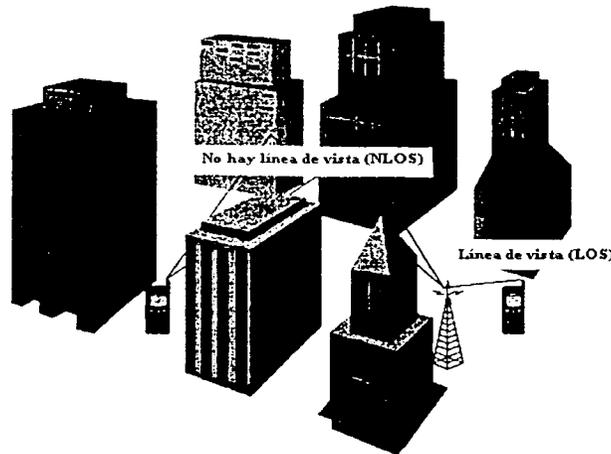


Figura 5.5: Ambiente de radio propagación de exteriores a interiores.

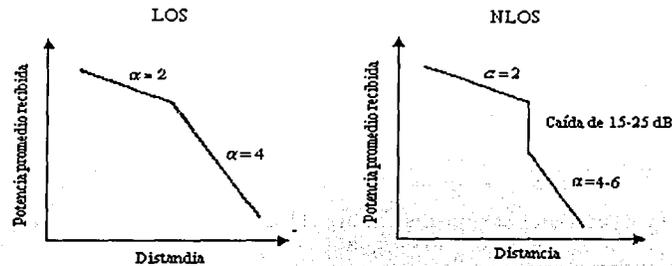


Figura 5.6: Propagación en una microcélula para las situaciones de LOS y NLOS.

5.5.3 Ambiente de Interior de Oficina.

En este ambiente de propagación (figura 5.7) la potencia de transmisión es pequeña y las estaciones bases, y los usuarios se localizan en interiores. El exponente de atenuación por pérdidas de trayectoria varía de 2 a 5, dependiendo de la dispersión y la atenuación por paredes, pisos y estructuras metálicas. Las pérdidas por penetración de paredes y pisos varían de acuerdo al material del cual estén hechos. Estas varían desde 3 dB (para materiales ligeros) hasta 13-20 dB para paredes de concreto. El ensombrecimiento tiene una distribución log-normal con una desviación estándar típica de 12 dB. Se presenta un desvanecimiento tipo Rician si la estación móvil se encuentra en el mismo cuarto que la estación base, y se presenta una distribución Rayleigh cuando la estación móvil se encuentra en un cuarto diferente o diferente piso a la estación base. El valor promedio (*rms*) del tiempo de retardo esparcido está por el orden de 50 a 250 ns. La velocidad de la estación móvil es pequeña, partiendo del estado estacionario hasta 5 Km/hr.

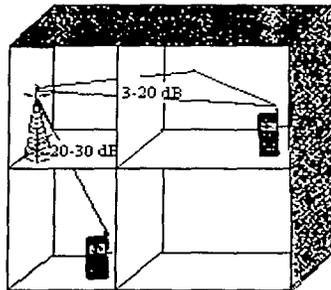


Figura 5.7: Ambiente de radio propagación de interior de oficina.

5.6 FUNCIONES DE DISTRIBUCIÓN

Las tres distribuciones estadísticas más fuertemente relacionadas con el comportamiento de una señal de radio móvil son la log-normal, Rician y Rayleigh.

5.6.1 Distribución log-normal

Esta distribución describe a la señal recibida ensombrecida por árboles, follajes, montañas y otros factores.

$$f_l = \frac{1}{p_o \sigma \sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(\ln(p_o) - m)^2}{2\sigma^2}\right] \quad (5-4)$$

Donde, p_o es la potencia local promedio, σ y $p_o = \exp(m)$ son la desviación estándar logarítmica del ensombrecimiento y del promedio, respectivamente.

5.6.2 Distribución Rician

La distribución Rician describe a la señal recibida resultante de la propagación multitrayectoria más una componente de línea de vista, predominantemente en medios rurales e interiores.

En algunas circunstancias, cuando existe una propagación de línea de vista, la trayectoria directa predomina sobre las indirectas. Esto puede suceder por ejemplo dentro de un edificio. Si se ubica una antena transmisora en un interior, es lógico esperar que ocurrirán algunos ductos para la propagación de las ondas, añadido a las dispersiones de multitrayectoria. Consecuentemente, la señal recibida es la suma de las señales dispersadas y las señales directas. La distribución Rician está dada por:

$$f_R(r) = \frac{r}{p'_o} \exp\left[-\frac{r^2 + s^2}{2p'_o}\right] I_0\left(\frac{r^2}{p'_o}\right) \quad \text{para } s \geq 0, r \geq 0$$

$$= 0 \quad \text{para } r \leq 0$$
(5-5)

donde: r es la amplitud de la señal recibida; $I_0(\cdot)$ es la función modificada de Bessel del primer tipo y de orden cero; s es el valor pico especulado de la señal; p'_o es la potencia promedio de la señal, $p'_o = p_o / (k+1)$; p_o es la potencia local total promedio de la señal recibida; y k es el factor Rician, el cual se define como la relación entre la potencia promedio especulada y el desvanecimiento promedio de la señal recibida.

$$k = \frac{s^2}{2p'_o} \quad (5-6)$$

5.6.3 Distribución de Rayleigh

La distribución de Rayleigh describe a la señal recibida resultante de la propagación de multitrayectoria, en áreas donde la señal de RF no tiene componentes de línea de vista. El modelo de desvanecimiento de Rayleigh aplica en el caso donde hay un gran número de trayectorias indirectas y éstas predominan sobre la trayectoria directa. El desvanecimiento Rayleigh es el desvanecimiento más severo.

Cuando la señal directa no existe implica que s es cero ($k=0$), es decir:

$$f_R(r) = \frac{r}{p_o} \exp\left[-\frac{r^2}{2p_o}\right] \quad \text{para } 0 \leq r \leq \infty$$

$$= 0 \quad \text{para } r < 0$$
(5-7)

5.7 MODELOS DE PÉRDIDAS DE TRAYECTORIA Y DE DESPLIEGUE

Típicamente, los modelos de pérdidas de trayectoria son derivados usando una combinación de métodos analíticos y empíricos. En la aproximación empírica, los datos medidos son modelados usando una curva ajustada (*fitting*) o expresiones analíticas. La validez de modelos empíricos en otros ambientes y frecuencias sólo puede ser validada comparando el modelo con datos medidos desde la área específica y para la frecuencia específica. Debe notarse que estos modelos representan sólo un ambiente de radio propagación real instantáneo y se proporcionan solo para ilustrar los principios de modelado del canal de radio.

5.7.1 Ambiente Vehicular

El ambiente de radio propagación vehicular corresponde a un macrocélula. El esquema de macrocélula se modela típicamente con una cuadrícula (*grid*) hexagonal homogénea, como muestra en la figura 5.8. Las pérdidas de trayectoria son calculadas como una distancia dependiente de la función $x^{-\alpha}$. El rango de valores de 3.0 a 5.0 se ha reportado para el exponente de pérdidas de trayectoria α dependiendo del ambiente.

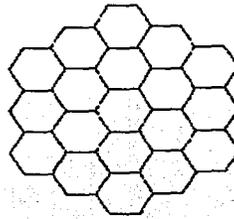


Figura 5.8: Esquema de macrocélula.

Adicionalmente, a esta distancia dependiente de las pérdidas, existe el efecto de ensombrecimiento, que es modelado como un cero significativo de la variable aleatoria Gaussiana, ξ (dB). Se asume que la desviación estándar del ensombrecimiento es de 10 dB. Las pérdidas de trayectoria resultantes se calculan como

$$L_{\text{macro}} = \xi + \alpha \cdot 10 \cdot \log(x) \quad (\text{dB}) \quad (5-8)$$

donde x es distancia en kilómetros.

5.7.2 Ambiente de Exteriores a Interiores y Peatonal

En este ambiente de radio propagación, el modelo de célula desplegado es de tipo de *microcélula Manhattan*, como se muestra en la figura 5.9. Las localizaciones de las estaciones base pueden estar en las esquinas de las calles, como en la figura 5.9, o en el medio de las mismas. El número de estaciones base también tiene que ser determinado. Un modelo de tres inclinaciones (*slope*) ha sido adoptado para microcélulas. Sin embargo, una versión simplificada se ha adoptado en la definición de este modelo, que no está preparado para un análisis a fondo sino para una estimación de la capacidad celular.

Un punto de interrupción -localizado a una distancia R_b del transmisor, donde las pérdidas son igual a L_b (dB)- marca la separación entre dos segmentos de LOS. El segundo de estos segmentos de LOS tiene una más alta inclinación (*slope*) y predice pérdidas más grandes que el primero, como se mostró en la figura 5.6. Por otro lado, el viraje en una esquina ocasiona pérdidas adicionales, L_{esquina} , en sólo unos metros y un incremento

en la inclinación del tercer segmento. El modelo matemático es dado por las siguientes expresiones, en donde las magnitudes de las pérdidas están dadas en dB

$$L_{LOS1} = L_b + 20 \cdot n_{LOS1} \cdot \log(x / R_b) \quad x \leq R_b, \text{ LOS} \quad (5-9)$$

$$L_{LOS2} = L_b + 40 \cdot n_{LOS2} \cdot \log(x / R_b) \quad x > R_b, \text{ LOS} \quad (5-10)$$

$$L_{NLOS} = L_{LOS}(x_{esquina}) + L_{esquina} + 10 \cdot n_{NLOS} \cdot \log(x / x_{esquina}) \quad \text{NLOS} \quad (5-11)$$

donde n_{LOS1} , n_{LOS2} y n_{NLOS} denota cada inclinación del segmento, y la posición del receptor es definida por la distancia del transmisor al receptor medida a lo largo de trayectoria de la calle, x , y , aunque en una situación NLOS, la distancia del transmisor a la esquina es, $x_{esquina}$. Los parámetros se derivan de las expresiones:

$$R_b = (4 \cdot h_b \cdot h_m / \lambda) \quad (5-12)$$

$$L_b = |20 \cdot \log[\lambda^2 / (8 \cdot \pi \cdot h_b \cdot h_m)]| \quad (5-13)$$

$$L_{esquina} = -0.1 \cdot w_s + 0.05 \cdot x_{esquina} + 20 \quad (5-14)$$

$$n_{NLOS} = -0.05 \cdot w_s + 0.02 \cdot x_{esquina} + 4 \quad (5-15)$$

donde h_b y h_m son las alturas de las antenas de la estación base y la estación móvil, respectivamente.

Como en el caso de las macrocélulas, el efecto de ensombrecimiento es modelado por $10^{\xi/10}$, donde ξ es de nuevo una variable aleatoria Gaussiana con las estadísticas de primer orden siguientes:

$$\begin{aligned} \langle \xi \rangle &= 0 \text{ dB} \\ \sigma_\xi &= 4 \text{ dB} \end{aligned}$$

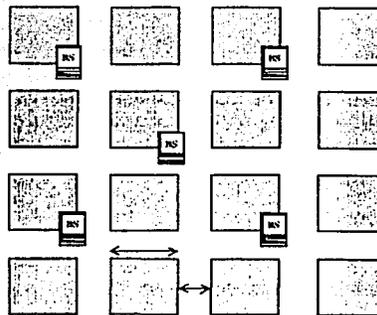


Figura 5.9: Modelo desplegado de microcélula Manhattan.

5.7.3 Ambiente de Interior de Oficina

Un ambiente de interior de oficina es modelado como un edificio aislado homogéneo con varios pisos. Tipi-

camente no se modelan las escalera o ascensores. Otros parámetros relevantes son la ubicación y el número de las estaciones base, pero también las pérdidas de penetración en paredes y pisos. Un ejemplo de modelo en interior de oficina se muestra en la figura 5.10.

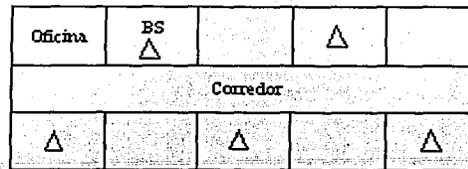


Figura 5.10: Ejemplo de modelo de interior de oficina.

El modelo Motley-Keenan es usado para modelar las pérdidas de trayectoria de interiores. Éste es un modelo empírico que toma en cuenta la atenuación debida a las paredes y pisos en la trayectoria del transmisor al receptor. Las pérdidas de trayectoria (dB) predécidas por este modelo son dadas por

$$L_{\text{pico}} = L_0 + 10 \cdot n \cdot \log(x) + \sum_{j=1}^J N_{w_j} \cdot L_{w_j} + \sum_{i=1}^I N_{f_i} \cdot L_{f_i} \quad (5-16)$$

donde: L_0 denota la pérdida en el punto de referencia; n es el índice de potencia en decaimiento; x representa la longitud de la trayectoria del transmisor al receptor. N_{w_j} y N_{f_i} denotan el número de paredes y pisos de tipos diferentes que son atravesados por la señal transmitida; y L_r (dB) y L_w (dB) representan los factores de pérdida correspondientes.

A diferencia de otros ambientes de radio propagación, no se modela el efecto de ensombrecimiento en un ambiente de interior de oficina.

5.8 MODELOS DE PEQUEÑA ESCALA

Durante los años recientes, los proyectos ATDMA y CODIT han realizado el modelado del canal de banda ancha (*wideband*) especialmente para los sistemas de tercera generación y sus ambientes de radio propagación. Una comparación entre los dos modelos de canal permitirá resaltar las diferencias entre los ambientes de propagación y analizar el impacto de éstos canales sobre las interfaces de aire de CDMA de banda angosta (*narrowband*) y de banda ancha, asumiendo como anchos de banda de los canales 1.25 y 5 MHz, respectivamente. A continuación, se describen de los diferentes ambientes de radio propagación.

5.8.1 Ambiente Vehicular

En el ambiente vehicular se usan los modelos de canal de macrocélulas. En las tablas 5.11 y 5.12 se presentan los parámetros de los canales CODIT (en formato COST 207) y ATDMA de macrocélula, respectivamente. Para ilustrar las diferencias entre los modelos de canal se dan las respuestas impulso de ambos canales en figura 5.13.

De la figura 5.13, puede observarse que en el modelo de banda ancha de ATDMA, el espaciamiento de multitrayectoria es mucho más amplio que en el modelo de canal CODIT. Además, en ATDMA los valores promedio de amplitud difieren más que en CODIT. Así también, en ATDMA la segunda trayectoria esta ya atenuada a 10 dB lo que conduce a tener dificultades en el canal, ya que la primera derivación (*tap*) también tiene un desvanecimiento de distribución Rayleigh. Por otra parte, el canal ATDMA es casi igualmente difícil

para CDMA de banda angosta como para CDMA de banda ancha, aunque para éste último se pueden resolverse más derivaciones lo que permite obtener algo más de ganancia de diversidad.

Tabla 5.11: Modelo de canal CODIT de macrocélula.

Derivación	Retardo relativo (ns)	Potencia relativa (dB)	Espectro Doppler
1	100	-3.2	CLASS
2	200	-5.0	CLASS
3	500	-4.5	CLASS
4	600	-3.6	CLASS
5	850	-3.9	CLASS
6	900	0.0	CLASS
7	1050	-3.0	CLASS
8	1350	-1.2	CLASS
9	1450	-5.0	CLASS
10	1500	-3.5	CLASS

Tabla 5.12: Modelo de canal ATDMA de macrocélula

Derivación	Retardo relativo (ns)	Potencia relativa (dB)	Espectro Doppler
1	0	0	CLASS
2	380	-10.0	CLASS
3	930	-22.7	CLASS
4	1940	-24.7	CLASS
5	2290	-20.7	CLASS
6	2910	-22.1	CLASS

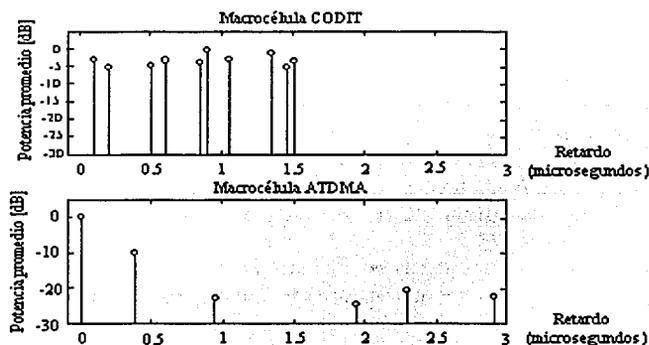


Figura 5.13: Respuestas impulso de los modelos de canal CODIT y ATDMA de macrocélula.

En el canal CODIT el tiempo de retardo de esparcimiento es más de $1 \mu\text{s}$. Las trayectorias de retardo son atenuadas menos de 5 dB con relación a la trayectoria más fuerte, ya que el retardo de esparcimiento es bastante grande para un poco de diversidad, y hay suficiente energía en las trayectorias de retardo. Finalmente, en el canal CDMA de banda angosta no se pueden resolver las derivaciones del canal en comparación al canal de CDMA de banda ancha. Por lo tanto, este último tiene una mayor ganancia de diversidad.

5.8.2 Ambiente de Exteriores a Interiores y Peatonal

Los parámetros de las derivaciones de los canales CODIT y ATDMA para una microcélula se muestran en las tablas 5.14 y 5.15, respectivamente. Así también, las respuestas impulso para los dos modelos de canal se ilustran en figura 5.16.

Tabla 5.14: Modelo de canal CODIT de microcélula.

Derivación	Retardo (n)	Potencia (dB)	Espectro Doppler	Factor Ricean (dB)	Cambio Doppler (f _i /fdop)
1	0	-2.3	RICE	-7.3	0.6066
2	0	0.0	RICE	-3.5	0.6066
3	0	-13.6	CLASS	-	-
5	50	-3.6	RICE	-3.5	0.6066
5	50	-8.1	CLASS	-	-
6	100	-10.0	CLASS	-	-
7	1700	-12.6	RICE	-2.2	0.6066

Tabla 5.15: Modelo de canal ATDMA de microcélula.

Derivación	Retardo relativo (ns)	Potencia relativa (dB)	Espectro Doppler
1	0	-4.9	CLASS
2	230	0	CLASS
3	630	-11.4	CLASS
4	1110	-13.9	CLASS
5	1440	-16.1	CLASS
6	1840	-23.5	CLASS

De la figura 5.16, se puede observar que las primeras seis derivaciones en el canal CODIT de microcélula están muy cercanas una a la otra, y los receptores no pueden resolver estas trayectorias. Aunque algunas de estas derivaciones tienen distribución Rician, la señal total se acercará a la distribución Rayleigh, ya que hay otras dos trayectorias con una potencia promedio (-2.3 y -3.6 dB) más fuerte. Esto conduce a tener casi la misma situación a la de un canal ATDMA típico de macrocélula, sólo que ahora hay una trayectoria a 1.7 μ s de retardo relativo, que proporciona un poco de diversidad. Tanto CDMA de banda angosta como de banda ancha pueden resolver sólo la última derivación, mientras las primeras seis derivaciones no pueden resolverse.

El canal ATDMA de microcélula es también un canal de comunicaciones bastante áspero. Es decir, las derivaciones ahora están más ampliamente separadas pero todas tienen desvanecimiento de distribución Rayleigh, y la segunda trayectoria más fuerte tiene ya -4.9 dB con respecto a una trayectoria mayor. Finalmente, CDMA de banda ancha con un ancho de banda de 5 MHz puede resolver todas las seis derivaciones, mientras que CDMA de banda angosta sólo puede resolver dos grupos de tres derivaciones cada uno.

5.8.3 Ambiente de Interior de Oficina

En las tablas 5.17 y 5.18 se muestran los parámetros de las derivaciones de los canales CODIT y ATDMA para una picocélula, respectivamente. Además, en la figura 5.19 se ilustran las respuestas impulso de ambos canales.

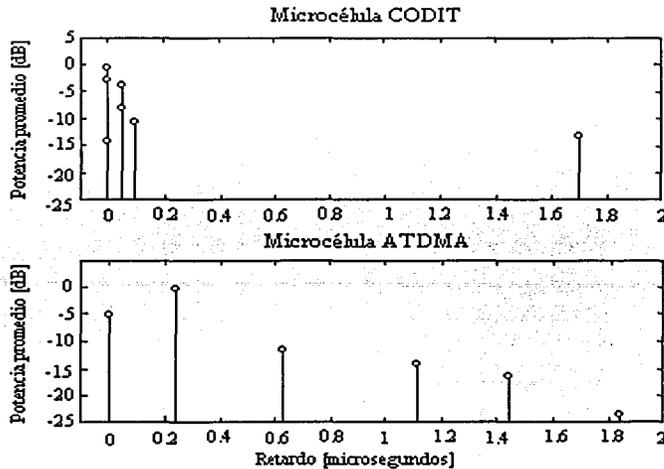


Figura 5.16: Respuestas impulso de los modelos de canal CODIT y ATDMA de microcélula.

Tabla 5.17: Modelo de canal CODIT de picocélula.

Derivación	Retardo relativo (ns)	Potencia relativa (dB)	Espectro Doppler
1	0	-3.6	CLASS
2	50	0.0	CLASS
3	100	-3.2	CLASS

Tabla 5.18: Modelo de canal ATDMA de picocélula.

Derivación	Retardo (n)	Potencia (dB)	Espectro Doppler	Factor Ricean (dB)	Cambio Doppler (f _i /fdop)
1	0	0	RICE	-10.0	-
2	77	-3.3	RICE	-4.0	-
3	186	-9.3	RICE	-4.0	-
5	299	-14.3	RICE	-4.0	-
5	404	-20.3	RICE	-4.0	-
6	513	-26.8	CLASS	-	-

De la figura 5.19 podemos notar que el tiempo de retardo de esparcimiento del canal CODIT para una picocélula es muy pequeño. Esto, junto con el hecho de que todas las derivaciones tienen desvanecimiento de distribución Rayleigh, llevará al desvanecimiento del canal a un plano difícil. El canal ATDMA interior es mucho más fácil. La primer derivación fuerte de la distribución Ricean debe asegurar mejor la distribución de amplitud que en la Rayleigh. Además, cuando se usa CDMA de banda ancha, todas las diferentes trayectorias se deben resolver.

5.8.4 Modelos de Canal Espacial

El despliegue de técnicas de antenas adaptables / inteligentes requiere una comprensión de las propiedades espaciales del canal inalámbrico. Los modernos modelos de canal de espacio edificados sobre la clásica com-

presión del desvanecimiento y el esparcimiento Doppler, incorporan conceptos adicionales tales como tiempo de retardo de esparcido, ángulo de llegada, y geometrías de antena adaptable.

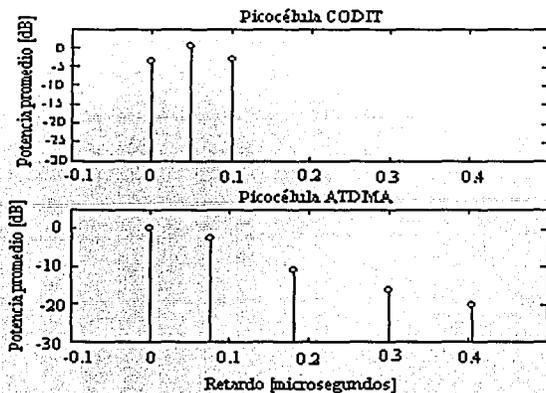


Figura 5.19: Respuestas impulso de los modelos de canal CODIT y ATDMA de píccelula.

5.9 MODELOS DE MOVILIDAD

Para comprender los modelos de movilidad se requiere el análisis de aspectos relacionados a la administración de la localización (planeación de áreas de localización, estrategias de voceo), administración de recursos de radio (técnicas de acceso múltiple, estrategias de asignación de canal, tasa de transferencia de llamada), montaje de señalización de red, y propagación (decisión de handover). Para diferentes propósitos se requieren tipos diferentes de modelos de movilidad. Por ejemplo, la planeación del área de localización requiere el conocimiento de la ubicación del usuario con una exactitud de una área de gran escala, mientras el análisis de los esquemas de recursos de radio, tal como el handover, requieren una exactitud de una área de media escala (área de la célula). Los modelos de movilidad pueden estar basados en simulaciones o aproximaciones analíticas. A continuación, se describen los diferentes ambientes de radio propagación, considerando modelos de movilidad analíticos para un área de media escala.

5.9.1 Ambiente Vehicular

En el ambiente vehicular, los usuarios son completamente libres de moverse con una velocidad constante dentro de toda el área de servicio. El modelo de movilidad es de tipo pseudo-aleatorio con trayectorias semidirigidas. Las unidades móviles son uniformemente distribuidas sobre el plano, y su dirección es aleatoriamente elegida en la inicialización. Después de cada decorrelación, habrá una actualización para la dirección del movimiento. La probabilidad para la actualización de dirección se muestra en la tabla 5.20, y es independiente del evento de actualización de dirección anterior. Si la actualización de la dirección tiene lugar, hay una probabilidad uniforme para cambiar la dirección del movimiento entre -45 y 45 grados. Finalmente, la dirección también puede cambiarse dentro de un sector dado para simular una trayectoria semidirigida.

5.9.2 Ambiente de Exteriores a Interiores y Peatonal

El área de despliegue para este tipo de ambiente de radio es una cuadrícula (*grid*) regular de calles y edificios. El área de simulación tiene un tamaño finito con fronteras (línea exterior de la calle). Todos los edificios y calles tienen tamaños iguales, y además todos los usuarios sólo entran a la mitad de las calles.

Tabla 5.20: Parámetros del modelo de movilidad para el ambiente de radio vehicular.

Parámetro	Valor ejemplo
Valor de velocidad	120 Km/h
Probabilidad para el cambio de dirección a la posición actualizada	0.2
Angulo máximo para actualización de dirección	45°
Duración de la decorrelación	20 m

Los nuevos usuarios serán distribuidos uniformemente sobre las posibles coordenadas del área de servicio, en donde cada posible coordenada tiene la misma oportunidad de ser elegida. Las unidades móviles pueden cruzar las calles a lo largo de éstas (siempre en el medio de las calles) y pueden volverse a cruzar con una cierta probabilidad (probabilidad de viraje, TP), esta se indica en la figura 5.21. La posición del móvil se actualizada cada 5 m, y la velocidad puede cambiar en cada actualización de la posición según una probabilidad dada. Por otra parte, el modelo de movilidad es descrito por los parámetros que se muestran en la tabla 5.22.

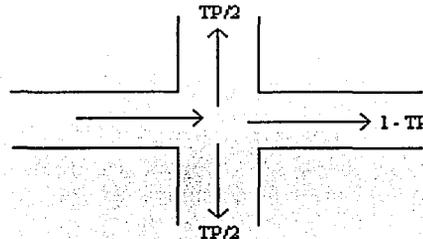


Figura 5.21: Probabilidad de viraje de punto.

Tabla 5.22: Parámetros del modelo de movilidad para el ambiente de radio exterior a interior y peatonal.

Parámetro	Valor ejemplo
Velocidad significativa	3 Km/h
Desviación estándar de la velocidad	0.3 Km/h
Probabilidad para la velocidad de cambio a la posición actualizada	0.2
Probabilidad de girar para cruzar la calle	0.5

Las unidades móviles son distribuidas uniformemente en las calles, y sus direcciones son aleatoriamente elegidas en la inicialización. A los usuarios que salen del área de simulación, al cruzar los límites de la frontera, se les considera como usuarios perdidos. Esta pérdida de usuarios influye en la densidad de tráfico; es decir, se vuelve una densidad de tráfico no homogénea cuando disminuye de la mitad hacia las fronteras.

Para mantener una densidad de tráfico homogénea en toda la frontera, deberá de existir la misma probabilidad entre los usuarios que entran y los usuarios que salen del área de servicio. En este modelo, esto se logra simplemente generando a un nuevo subscriptor cuando uno deja el área de servicio. Este nuevo subscriptor se pone exactamente en la frontera con la misma probabilidad de cada punto de la frontera. Dado que se supone que la probabilidad del usuario saliente es la misma en cada parte de la frontera, la densidad de tráfico resultante será homogénea.

5.9.3 Ambiente de Interior de Oficina

En el ambiente de interior de oficina, sólo una clase de movilidad es aceptada. El movimiento de los usuarios se caracteriza como sigue:

- No hay movilidad entre los pisos.
- Las unidades móviles pueden estar en estado estacionario o moviéndose con una velocidad constante del interior de una oficina al corredor, o viceversa.
- Si una unidad móvil está en el interior de una oficina, tiene una probabilidad más alta de estar en un estado estacionario.
- Si una unidad móvil está en el corredor, tiene una probabilidad más baja de estar en estado estacionario.

Cada unidad móvil puede estar ya sea en un estado estacionario o en un estado en movimiento. La transición del estado estacionario al estado en movimiento es un proceso aleatorio. El tiempo de duración que cada unidad móvil consume en el estado estacionario es delineado por la distribución exponencial (exponencial discreta) con diferentes valores significativos que dependen de si la unidad móvil esta en una oficina o en el corredor. La transición del estado en movimiento al estado estacionario toma lugar cuando la unidad móvil alcanza su destino.

Cuando una unidad móvil está en una oficina y cambia al estado en movimiento, se mueve hacia el corredor (ver figura 5.23) según el procedimiento siguiente:

1. Se seleccionan las coordenadas del destino en el corredor con una distribución uniforme. (Cada sitio en el corredor tiene la misma probabilidad de llegar a ser el punto de destino.)
2. La unidad móvil "camina" de su ubicación actual hacia la ubicación destino de tal modo que primero intercambia la coordenada vertical (*y*) por la nueva coordenada, y enseguida intercambia la coordenada horizontal (*x*) por la coordenada destino. La velocidad durante todo el proceso es constante.
3. Cuando la unidad móvil alcanzan el punto de destino, es transferida hacia el estado estacionario.

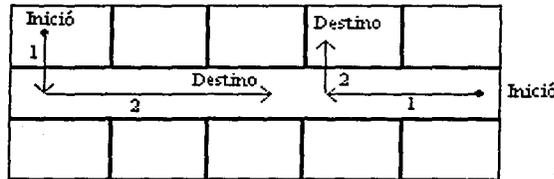


Figura 5.23: Modelo de movilidad. Se trazan dos ejemplos de rutas. A la izquierda: del interior de una oficina al corredor; a la derecha: del corredor al interior de una oficina.

Por otra parte, cuando una unidad móvil está en un corredor y cambia al estado en movimiento, se mueve hacia cualquiera de las oficinas con la misma probabilidad. El siguiente procedimiento define el movimiento a lo largo del corredor y del corredor a una oficina:

1. Se selecciona la oficina destino usando una distribución uniforme discreta.
2. Se seleccionan las coordenadas del destino con una distribución uniforme. (Cada sitio en el corredor o en el interior de una oficina tiene la misma probabilidad de llegar a ser el punto de destino.)

3. La unidad móvil "camina" de su ubicación actual hacia la ubicación destino de tal modo que primero intercambia la coordenada horizontal (x) por la nueva coordenada, y enseguida intercambia la coordenada vertical (y) por la coordenada destino. La velocidad durante todo el proceso es constante.
4. Cuando la unidad móvil alcanza el punto de destino, es transferida hacia el estado estacionario. En el estado estacionario, las unidades móviles no se mueven en absoluto.

La figura 5.24 representa el movimiento de la estación móvil con un modelo de estado. $P(S,S)$ denota la probabilidad de transición del estado estacionario al estado estacionario, $P(S,M)$ denota la probabilidad de transición del estado estacionario al estado en movimiento, $P(M,S)$ denota la probabilidad de transición del estado en movimiento al estado estacionario, y $P(M,M)$ denota la probabilidad de transición del estado en movimiento al estado en movimiento. Para deducir las probabilidades de transición del estado estacionario al estado en movimiento, se deben proponer los siguientes parámetros: proporción de unidades móviles que se alojan en la oficina (r), tiempo estacionario en la oficina (mr) e iteración de paso de tiempo (Δt). Con estos parámetros, las probabilidades de transición para la iteración de paso de tiempo ($1-\Delta t/mr$, $1-\Delta t/mc$) y el tiempo estacionario en el corredor (mc) pueden derivarse, de manera que el flujo de unidades móviles que entran a las oficinas sea igual al flujo de unidades móviles que salen de ellas:

$$r \frac{\Delta t}{mr} = (1-r) \frac{\Delta t}{mc} \tag{5-17}$$

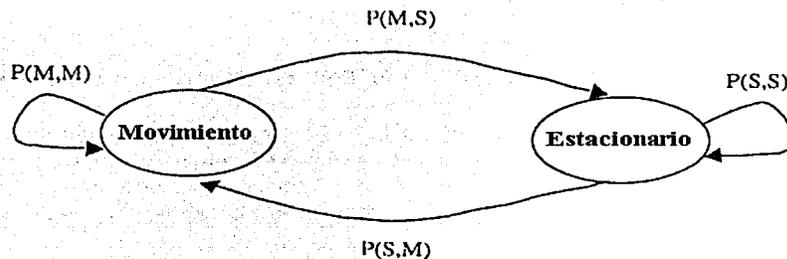


Figura 5.24: Presentación del estado automatizado del movimiento de la estación móvil.

CAPÍTULO 6

Consideraciones para el Diseño de la Interfaz de Aire CDMA

6.1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo describiremos más a fondo los aspectos más importantes del diseño de una interfase de aire CDMA, en específico los elementos básicos de un sistema DS-CDMA como son: receptor RAKE, control de potencia, handover suave, y detección multiusuario. Así como, los elementos importantes en el diseño de una interfaz de aire como lo son: la codificación, modulación, sistemas de corrección de errores; además, se comentará acerca de las diferentes tasas de transmisión y la calidad de servicio requerida, así también, de los requerimientos y soluciones para una transmisión eficiente por paquetes de datos. Finalmente, se analizarán las características esenciales de los transmisores y receptores, del procedimiento de acceso aleatorio, procedimiento detallado de handover, etc.

6.2 DEFINICIÓN DE REQUERIMIENTOS Y PROCESO GENERAL DE DISEÑO

El punto de partida en el diseño de una interfaz de aire son los requerimientos del sistema, ya que de esto dependen los buenos resultados finales en el diseño. Los requerimientos básicos de un sistema involucran: velocidades de transmisión, tasa de bits de errores (*BER*), y retardo, así como modelos del canal los cuales definen el ambiente de radio. Otros aspectos que necesitan ser considerados son: las frecuencias disponibles, sincronización, señalización, etc.

El diseño de una interfaz de aire CDMA involucra muchas áreas, como se muestra en la figura 6.1. Cada área en sí es muy extensa y los diferentes parámetros pueden ser optimizados por separado. Sin embargo, un buen diseño depende de diferentes y, en algunos casos, de contradictorios requerimientos. Por ejemplo, un buen desempeño del sistema requiere de receptores muy avanzados resultando en una alta complejidad y costos.

El diseño de un esquema multitasa para diferentes tasas de transmisión requiere de una cuidadosa y optimizada codificación, modulación y códigos de esparcimiento. La sincronización del handover, por ejemplo, depende de la sincronización en la red (estaciones base sincronas o asíncronas). Es más, el diseño final depende de la manera en que cada criterio de optimización es considerado.

6.3 ESTRUCTURA POR CAPAS DE LA INTERFAZ DE AIRE

Como se observa en la figura 6.2, las funciones en una interfaz de aire están estructuradas en capas. La capa física desempeña la codificación, modulación, y el esparcimiento de los canales físicos. La capa de enlace (ver figura 6.2) se divide en dos subcapas: *control de acceso medio* (MAC), y *control de acceso de enlace* (LAC).

La subcapa MAC coordina los recursos recibidos de la capa física. La subcapa LAC coordina las funciones esenciales en una conexión como son la inicialización, mantenimiento y finalización de un enlace. La capa de red ejecuta el control de la llamada, manejo de la movilidad, etc.

Algunas funciones de administración de recursos de radio, tales como handover, control de potencia, y acceso aleatorio tienen un impacto en la capa física (medición de capacidades, impacto en los canales de sincronización).

Condiciones de sistema:

- Tasa de transmisión, BER, retrasos.
- Ambiente de radio.
- Disponibilidad de bandas de frecuencias .
- Sincronización.
- Señalización.
- Aspectos complejos.

Diseño de la interfase de aire.

Optimización conjunta de :

- Canales físicos.
- Códigos de expansión.
- Modulación.
- Esquemas de control de errores.
- Esquemas de multitareas.
- Transmisión de paquetes de datos.
- Acceso aleatorio.
- Receptores y transmisores.
- Handover
- Control de potencia.
- Control de admisión y de carga.

Figura 6.1: Proceso de diseño de una interfaz de aire CDMA.

6.4 CANALES LÓGICOS

En todo sistema celular existen funciones específicas que inician, mantienen y terminan una conexión. Primeramente, la estación móvil adquiere la *sincronización* de la red. Posteriormente, obtiene información del sistema, como identificación de la célula, códigos de esparcimiento, canal de acceso, y lista de células vecinas de la red. En el caso de que la llamada se haya originado en la red, la estación móvil es *voceada*. Después de la sincronización, la estación móvil inicia la conexión enviando un mensaje de *acceso aleatorio*, y la red responde enviando un mensaje de *concesión de acceso*. La conexión se establece por el canal de tráfico. Durante la conexión, la información de control y medición, así como los datos de señalización son transmitidos.

Los canales lógicos, pueden dividirse en canales de control y de tráfico. Un canal de control puede ser igualmente común o dedicado. Un *canal de control común* es un canal de control punto-a-multipunto que transporta mensajes de conexión, los cuales de inici transportan información de señalización necesaria para llevar a cabo las funciones de acceso (petición de acceso, concesión de acceso, mensajes de voceo, y paquetes de datos del usuario). Un *canal de control dedicado* es un canal de control bidireccional punto-a-punto, con el objetivo de transportar información de señalización como mediciones de handover, información de adaptación de servicio, e información de control de potencia. Los canales de tráfico transportan una gran variedad de información de los usuarios. Los procedimientos descritos conducen hacia la siguiente estructura de canal lógico:

- Canal de sincronización;
- Canal de acceso aleatorio;
- Canal de transmisión (*broadcast*);
- Canal de voceo (búsqueda);
- Canal de control dedicado;
- Canal de tráfico.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

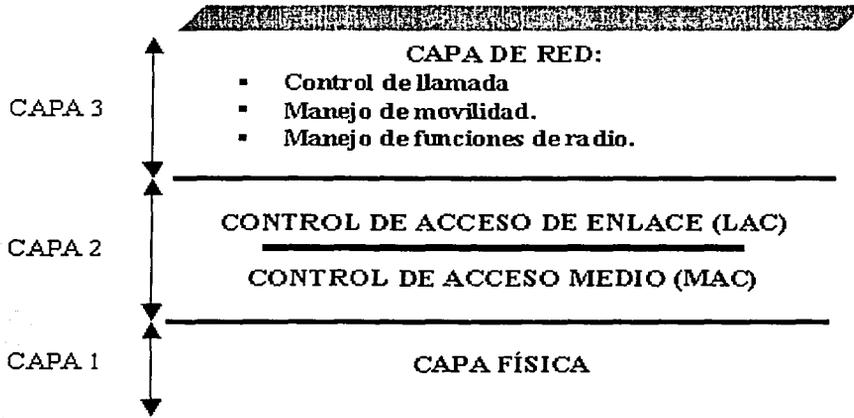


Figura 6.2: Estructura por capas de la interfaz de aire.

6.5 CANALES FÍSICOS

En general, las funciones realizadas por los canales lógicos necesitan ser mapeadas en los canales físicos. Éste mapeo depende de varios aspectos tales como del diseño de la trama, método de modulación, y diseño de códigos. Una función específica realizada por un canal lógico podría ser mapeada en diversos canales físicos, o viceversa diferentes funciones pueden ser mapeadas utilizando, por ejemplo, multiplexaje en tiempo dentro de un canal físico. Los diferentes canales físicos están separados por códigos de esparcimiento.

Un canal de sincronización es utilizado para proveer al receptor de sincronización de chip, bits y de tramas. Una señal piloto puede utilizarse como una señal de referencia del nivel de chip, sincronización y detección coherente. La estación móvil utiliza el canal de sincronización del enlace descendente para mediciones de handover y sincronización.

El canal de transmisión transporta información específica del sistema. El diseñador del sistema necesita determinar el tipo y tasa de transmisión de la información que se va a transmitir, de tal manera que el canal de transmisión de datos pueda ser definido. Para el canal de voice, se necesita definir el número de canales de búsqueda (voice) y la tasa de transmisión.

La estructura del canal de acceso aleatorio depende en qué tan rápido necesite establecerse la sincronización y en la estrategia elegida de acceso. Además, el número esperado de intentos de acceso y el tiempo de sincronización determinan el número de canales de acceso aleatorio. Sin embargo, la cantidad de información transmitida durante el intento de acceso es un aspecto importante en el diseño.

Normalmente, un canal de control dedicado se maneja junto con un canal de tráfico. Los canales de tráfico y de control dedicado pueden ser multiplexados en tiempo, en código o en los canales I&Q. Esta última alternativa significa que los datos del usuario son transmitidos sobre el canal I y la información de control sobre el canal Q. Una multiplexación pura en código, sin multiplexación I&Q, conduce a una transmisión multicódigo, que ligeramente aumenta las variaciones de la señal transmitida requiriendo un amplificador de potencia más lineal. Sin embargo, con un canal de control dedicado multiplexado en código, la estación móvil necesita recibir dos canales de código en lugar de uno, por lo tanto, la complejidad se incrementa.

6.5.1 Diseño de la Longitud de Trama

La longitud de la trama en un canal de tráfico depende de los requerimientos de servicio y del desempeño de radio deseado. Con el objeto de obtener un buen desempeño en un canal con desvanecimiento, la longitud de

la trama del canal de tráfico debe ser suficiente para soportar una razonable profundidad de entrelazado. Por otro lado, este no debe ser extremadamente largo que exceda el retardo de transmisión requerido del servicio.

Para servicios de datos, se puede tolerar un periodo de entrelazado más largo que para la voz. Sin embargo, es recomendable extender el periodo de entrelazado sobre una trama, mediante múltiplos del periodo de la trama, a esto se le llama *entrelazando inter-trama*. Para servicios por paquetes, se desea una longitud de trama más corta a 10 ms para minimizar la retransmisión del retardo de paquetes erróneos.

Se asume, típicamente, que la longitud de trama en el canal de control es igual que para el canal de tráfico. Sin embargo, la introducción de paquetes de datos podría impulsar un tamaño de trama más pequeño para el canal de control para disminuir el tiempo de organización del canal y aumentar la eficiencia del canal de tráfico.

6.5.2 Medición de Señalización

Los requerimientos de la señalización dependen de las necesidades de medición (es decir, qué tan seguido se hacen mediciones de control de potencia, handover y control de carga, y cómo deben ser transmitidas entre la estación móvil y la estación base). Cuando se han definido los requerimientos de transmisión más grandes para la señalización, pueden diseñarse estructuras de canal apropiadas. El tráfico de señalización puede transmitirse en canales de control dedicado (señalización "outband") o en canales de tráfico puntualizando los datos del usuario (señalización "inband"). El método seleccionado depende de los requerimientos de calidad para los datos del usuario y la complejidad de la estación móvil. La señalización "inband" degrada la calidad de la transmisión dado que se anulan los bits de datos del usuario. Sin embargo, si el número de bits anulados es pequeño, un aumento de potencia (con la misma cantidad como para la señalización "outband") compensará la pérdida de calidad.

6.5.3 Señales Piloto

Dado que existe desvanecimiento en los canales, no es fácil obtener una referencia de fase para realizar una detección coherente de una señal modulada. Por tanto, es benéfico contar con un canal piloto separado. Típicamente, una estimación de canal para detección coherente se obtiene de un canal del piloto común.

Los símbolos piloto dedicados del usuario pueden ser multiplexados en tiempo o en código. Las figuras 6.3 y 6.4 describen diagramas de bloques de un transmisores y receptores para símbolos piloto multiplexados en tiempo, y un canal piloto paralelo multiplexado por código, respectivamente. Un inconveniente del canal piloto transmitido con un código diferente es que requiere correlacionadores extra para el desesparcimiento.

Para símbolos piloto multiplexados en el tiempo, se necesita determinar la relación entre el número de símbolos de datos (L_d) y el número de símbolos piloto (L_p). En el canal piloto paralelo, se debe determinar la relación de potencia de los canales piloto y de datos. En el receptor, los símbolos piloto son promediados en un cierto período de tiempo. La longitud promedio varía de acuerdo a la frecuencia Doppler.

6.6 CÓDIGOS DE ESPARCIMIENTO

El sistema CDMA IS-95, tiene enlaces asimétricos (por ejemplo, los enlaces de subida y de bajada tienen diferentes estructuras de enlace). Las diferencias van desde el esquema de modulación hasta los métodos de control de errores. En suma, cada enlace usa códigos diferentes para canalizar usuarios individuales. Los códigos de esparcimiento se pueden dividir en códigos de seudo ruido (PN) y códigos ortogonales (Walsh).

6.6.1 Propiedades Básicas de los Códigos de Esparcimiento

En los transmisores CDMA de Secuencia Directa (DS-CDMA), la señal de información es modulada por un código de esparcimiento, y en el receptor se correlaciona con una réplica del mismo código. Así, para bajar la *correlación cruzada* entre los usuarios deseados y los interferentes es necesario suprimir la interferencia de

acceso múltiple. Una buena *autocorrelación* es necesaria para asegurar la sincronización del código PN con el receptor. Así también, una buena autocorrelación nos asegura la separación de los componentes de multitrayectoria. Una correlación alta ocurre únicamente cuando los códigos están alineados, si los códigos no están alineados, resulta en una correlación baja. Cuando la autocorrelación alcanza un máximo, entonces los dos códigos están en fase y tiene un desplazamiento en tiempo de cero. Las funciones de autocorrelación y correlación cruzada se relacionan de tal manera que no es posible alcanzar buenos valores en ambos simultáneamente.

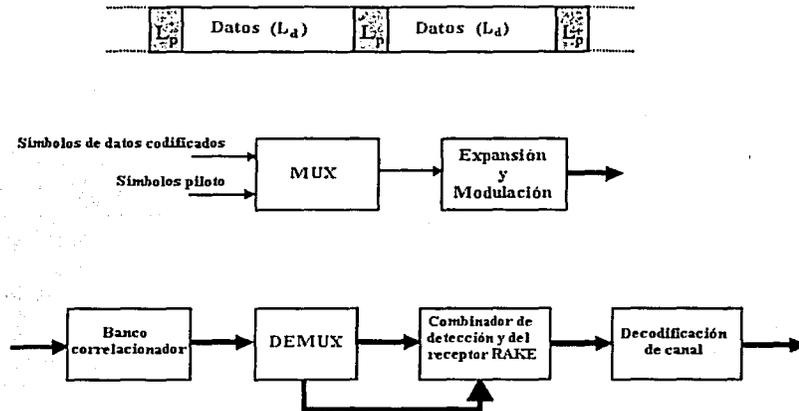


Figura 6.3: Símbolos piloto multiplexados en el tiempo.

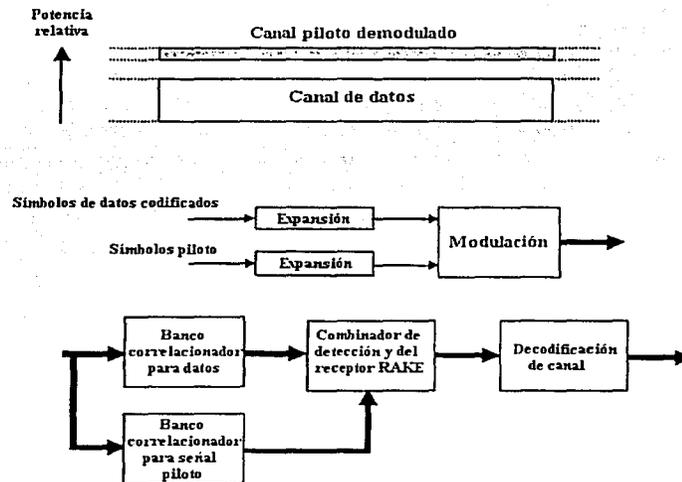


Figura 6.4: Canal piloto paralelo multiplexado por código.

Una buena autocorrelación indica una buena aleatoriedad en la secuencia. Los códigos aleatorios disminuyen la correlación cruzada en mayor cantidad que los códigos determinísticos. La figura 6.5 ilustra funciones de auto y correlación cruzada para una M-sucesión de longitud de 31 chips.

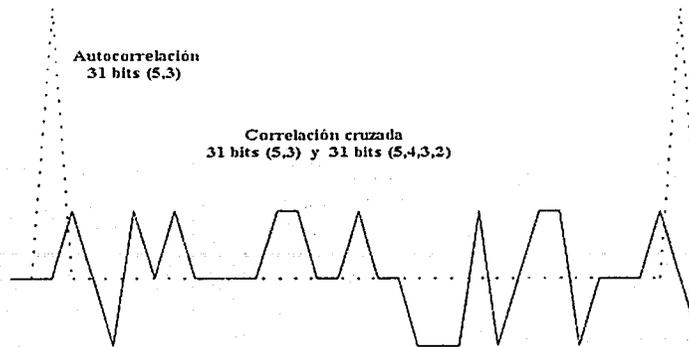


Figura 6.5: Funciones de auto y correlación cruzada.

Existen dos funciones básicas de correlación: uniforme y dispar. En la uniforme, los bits de información consecuentes son los mismos, mientras que en la dispar son diferentes. En un sistema CDMA asíncrono ambas funciones existen con la misma probabilidad.

Un sistema DS-CDMA puede ser clasificado en *síncrono* y *asíncrono*. En un sistema síncrono los tiempos de transmisión de los códigos de esparcimiento son los mismos, mientras que en un sistema asíncrono no existe control en los tiempos de transmisión entre los usuarios existentes. En un sistema síncrono (por ejemplo, el enlace descendente de un sistema celular) se puede utilizar códigos completamente ortogonales. Sin embargo, las multitraectorias resultarán dentro de un sistema parcialmente no ortogonal. El enlace ascendente de un sistema celular es asíncrono, aunque la sincronización se ha propuesto para un sistema CDMA de banda ancha (*WCDMA*).

6.6.2 Códigos de Ruido Seudo Aleatorio (*PN*)

Una diferencia entre el enlace descendente de IS-95 CDMA es que tiene canales piloto y de sincronía para ayudar a la sincronización, mientras que el enlace ascendente no los tiene. Las estaciones móviles transmiten a discreción, y no intentan sincronizar sus transmisiones. De esta forma, los códigos ortogonales (Walsh) no se usan en el enlace ascendente. La naturaleza incoherente del enlace ascendente implica el uso de otra clase de códigos, códigos PN, para canalización.

6.6.2.1 Generación de códigos de ruido seudo aleatorios

Los conjuntos de códigos PN se pueden generar por un registro de corrimiento de realimentación lineal. Un ejemplo (registro de 3 estados) se muestra en la figura 6.6. Los bits binarios se desplazan a través de los diferentes estados del registro. La salida del último estado y de un estado intermedio se combinan y se alimentan como entrada al primer estado.

El registro empieza con una secuencia inicial de bits, o estado inicial, almacenada en sus estados, entonces el registro se activa, y los bits se mueven a través de los estados; de esta forma, el registro continúa generando bits de salida y alimenta bits de entrada a su primer estado. Los bits de salida del último estado forman el código PN.

Debe notarse que existe un corrimiento, en el cual el registro retorna a su estado inicial, y los siguientes desplazamientos de bits darán otra secuencia idéntica de salidas. Así, la longitud efectiva del código PN que se genera es la del corrimiento en la que se repitió el estado inicial. La salida del registro forma el código PN, el cual se considera sin el bit en que se volvió a repetir el estado.

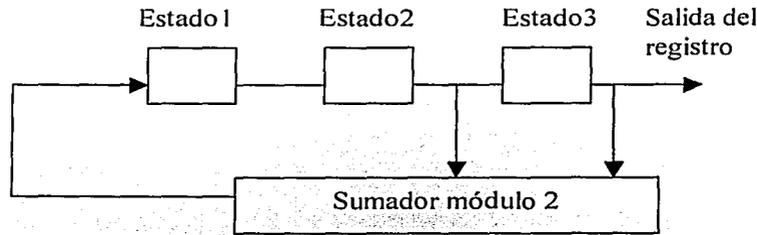


Figura 6.6: Registros de tres estados.

El código que se genera de esta forma se llama *código de registro de corrimiento de longitud máxima*, y la longitud L de un código de longitud máxima es:

$$L = 2^N - 1 \quad (6-1)$$

donde N es el número de estados, u orden del registro. La estructura del código PN está determinada por la lógica de realimentación (por ejemplo, cuales estados se seleccionada para realimentación) y el estado del registro inicial.

Estos códigos deben establecer las siguientes condiciones:

1. La correlación cruzada debe ser cero o muy pequeña
2. Cada secuencia en el conjunto tiene un número igual de 1's y -1's, o el número de 1's difiere del número de -1's a lo más en uno.
3. El producto punto escalar de cada código debe ser igual a cero.

6.6.3 Códigos Ortogonales

6.6.3.1 Códigos Walsh

En un sistema CDMA, todos los usuarios se transmiten en la misma banda de RF. Para evitar interferencia mutua en el enlace de bajada, los códigos Walsh se usan para separar usuarios individuales mientras ellos ocupan simultáneamente las misma banda de RF. Los códigos Walsh utilizados en IS-95 son un ejemplo de códigos ortogonales, los cuales son un conjunto de 64 secuencias binarias. Estas secuencias son ortogonales a cada una, y ellas se generan al usar la matriz Hadamard. Se usa recursión para generar matrices de orden más alto desde unas de orden más pequeño; esto es:

$$H_{2N} = \begin{bmatrix} H_N & H_N \\ H_N & \overline{H_N} \end{bmatrix} \quad (6-2)$$

donde $\overline{H_N}$ contiene los mismos elementos pero invertidos de H_N . La matriz primitiva es:

$$H_2 = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

por lo tanto, para derivar un conjunto de cuatro secuencias ortogonales Walsh w_0 , w_1 , w_2 , y w_3 , únicamente necesitamos generar una matriz Hadamard de orden 4:

$$H_4 \begin{bmatrix} H_2 & H_2 \\ H_2 & \overline{H_2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad (6-3)$$

Las cuatro secuencias ortogonales en este conjunto de códigos Walsh se toman de renglones de la matriz H_4 ; esto es:

$$\begin{aligned} w_0 &= [0 & 0 & 0 & 0] \\ w_1 &= [0 & 1 & 0 & 1] \\ w_2 &= [0 & 0 & 1 & 1] \\ w_3 &= [0 & 1 & 1 & 0] \end{aligned}$$

las secuencias ortogonales deben cumplir las siguientes características:

1. La correlación cruzada debe ser cero o muy pequeña.
2. Cada secuencia en el conjunto tiene un número igual de 1's y -1's, o el número de 1's difiere del número de -1's a lo más en uno.
3. El producto punto escalar de cada código debe ser igual a 1.

Al cambiar los 0's por -1's en cada una de las cuatro secuencias anteriores, esto es:

$$\begin{aligned} w_0 &= [-1 & -1 & -1 & -1] \\ w_1 &= [-1 & 1 & -1 & 1] \\ w_2 &= [-1 & -1 & 1 & 1] \\ w_3 &= [-1 & 1 & 1 & -1] \end{aligned}$$

podemos facilitarnos el cálculo del producto punto y producto cruz. Se puede verificar fácilmente que todas las secuencias anteriores excepto w_0 satisfacen las condiciones. En general, la secuencia Walsh 0 tiene todos sus elementos igual a -1 y no puede ser usada para canalización.

La matriz 6-2 se puede usar recursivamente para generar matrices Hadamard de órdenes más altos para obtener conjuntos más grandes de secuencias ortogonales. La longitud de los códigos Walsh es un número par de chips, el número de códigos es igual al número de chips (por ejemplo, hay 128 códigos de longitud 128). Un código Walsh de longitud n se puede dividir en 2 códigos de longitud $n/2$. Todos los códigos $n/2$ generados del de longitud n son ortogonales entre sí.

En el enlace de bajada IS-95 usa un conjunto de 64 secuencias ortogonales Walsh, así la limitación física en el número de canales en el enlace de bajada es 63 porque en un sistema IS-95, w_0 no se usa para transmitir información en banda base.

En IS-95 CDMA, el enlace de subida usa el código PN largo para canalización. Se llama *código largo* porque su longitud es literalmente muy larga. El código largo tiene una longitud de 2^{42-1} chips y se genera usando un registro de 42 estados.

Recordemos que el enlace de bajada en un sistema IS-95 usa el código Walsh para canalizar usuarios individuales de una estación base particular. Sin embargo, el enlace de bajada también usa el código PN. A cada estación base se le asigna un código único PN que se coloca en la parte superior del código Walsh. Esto se hace para proveer aislamiento entre las diferentes estaciones base (o sectores); el aislamiento es necesario porque cada estación base usa el mismo conjunto de 64 códigos Walsh. El código PN en el enlace de bajada es llamado el *código corto*. Se le llama así porque su longitud es relativamente corta. El código corto se gene-

ra usando un registro de 15 estados y tiene una longitud de 2^{15-1} chips.

6.6.3.2 Códigos de estructura de árbol

Otro ejemplo de los códigos ortogonales son los códigos de estructura de árbol cuya construcción se muestra en la figura 6.7.

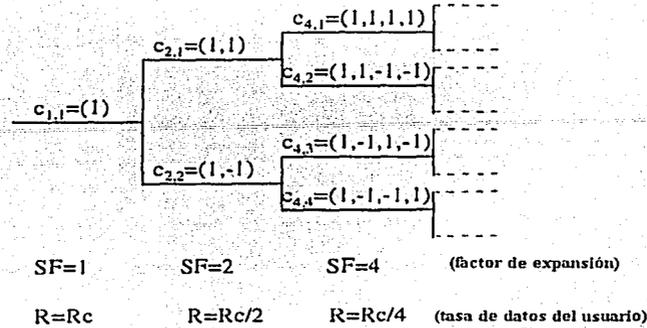


Figura 6.7: Construcción de códigos de expansión ortogonales para diferentes factores de expansión.

Estos códigos se generan según la ecuación 6-4, donde C_{2n} es un código ortogonal de tamaño $2n$. Las propiedades de ortogonalidad de estos códigos son similares a los códigos Walsh. De hecho, esta es otra manera de generar códigos Walsh. El orden de las funciones en la matriz es diferente a la matriz Hardmark, pero las funciones en sí son las mismas. Los códigos generados en la misma capa son ortogonales, inclusive son ortogonales entre diferentes capas, a excepción de que uno sea la madre de otros. Por ejemplo, el código $C_{4,4}$ no es ortogonal con $C_{1,1}$ y $C_{2,2}$.

$$C_{2n} = \begin{pmatrix} C_{2n,1} \\ C_{2n,2} \\ \vdots \\ C_{2n,2n} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \begin{pmatrix} C_{n,1} & C_{n,1} \\ C_{n,1} & -C_{n,1} \end{pmatrix} \\ \vdots \\ \begin{pmatrix} C_{n,n} & C_{n,n} \\ C_{n,n} & -C_{n,n} \end{pmatrix} \end{pmatrix} \quad (6-4)$$

6.6.4 Criterios de Selección

Las características de la correlación entre códigos y el número de éstos, son dos importantes criterios de selección al diseñar o seleccionar la familia más apropiada de códigos para el diseño de una interfaz específica de aire.

6.6.4.1 Características de correlación

Un criterio muy utilizado en el diseño de códigos es la minimización del máximo valor de la correlación cruzada. La distribución de los valores de la correlación cruzada son más importantes que el valor pico de la correlación cruzada. El valor máximo de la correlación tiene mayor significado cuando la relación señal a ruido (SNR) es grande, o el número de usuarios es pequeño o los códigos son muy cortos.

Una adecuada elección de los códigos puede mejorar el desempeño del sistema cuando 2 usuarios tienen la

misma tasa de transmisión de datos y coexisten en el mismo ancho de banda.

6.6.4.2 Número de códigos

En el caso de los códigos largos, el número de códigos es suficiente para acomodar suficientes usuarios en una célula; por otro lado, los códigos cortos pueden llegar a ser insuficientes.

El número requerido de códigos depende de la carga de tráfico esperada y la eficiencia en el espectro. Un mayor número de códigos es necesario para soportar una baja velocidad de transmisión y cuando se utiliza un método de transmisión de multicódigo. Si una célula vecina está vacía, entonces una célula puede asignar un mayor número de usuarios y se requerirán más códigos. Las unidades móviles durante el handover suave consumen códigos de al menos dos estaciones base. Una manera de incrementar el número de códigos es asignar el mismo conjunto de códigos ortogonales con diferente código piloto para el mismo sector. Sin embargo, esto podría degradar el desempeño del sistema si estos códigos fuesen suficientemente ortogonales.

En un sistema de tasa variable de datos, la asignación de códigos para diferentes conexiones puede ser *estática* o *dinámica*. La asignación de código dinámica libera los códigos de expansión cuando un usuario se encuentra inactivo. En la asignación estática, a una conexión se le asigna un número fijo de códigos para soportar la máxima tasa de datos. Si el factor de actividad fuese muy bajo, cada conexión debería ser asignada una pequeña porción de códigos. Si hubiese muchos usuarios, la estación base podría quedarse sin códigos. Por lo tanto, la asignación dinámica es el mejor método, especialmente en un sistema de transmisión de paquetes de datos y con tasas variables de transmisión.

En el enlace ascendente, cada usuario tiene su propio código. Dado que los mismos códigos no deben usarse en las células vecinas se requiere un gran número de códigos.

6.6.4.3 Otros requerimientos en la asignación de código

Los códigos ortogonales tiene un número par de chips en contraste con las secuencias PN que tiene un número impar. Si ambos códigos se utilizan en un sistema, es conveniente que la longitud de éstos códigos sean múltiplos de 2 para facilitar la sincronización, de tal manera que una secuencia PN puede extenderse con un chip, el cual se puede seleccionar de tal manera que el número de unos y ceros en la secuencia extendida sea igual. En general, esta extensión de códigos no cambia peligrosamente las propiedades de correlación.

Finalmente, la selección de un código impacta en la complejidad de un receptor. La detección multiusuario, por ejemplo, puede requerir de códigos cortos para reducir la complejidad de la implementación.

6.7 MODULACIÓN

La cadena de bits digitales se tiene que modular en una portadora de RF para ser transmitida. La señal modulada se transmite entonces a través del espacio en la forma de un campo electromagnético propagándose. Necesitamos modular la cadena de bits en una portadora de RF por dos razones muy importantes:

- *Primero*, la agencia regulatoria de cada país (COFETEL en México), especifica la frecuencia a la cual un servicio particular se puede transmitir. Así, no cualquiera puede transmitir a la frecuencia en banda base.
- *Segundo*, para transmitir en banda base, que es a una frecuencia mucho menor, el tamaño de la antena requerida sería enorme para permitir un acoplamiento eficiente entre el transmisor y el espacio libre.

Los esquemas de modulación digital se usan para transmitir unidades discretas de información llamadas *símbolos*, y la información puede estar en la amplitud, la fase o la amplitud y fase de la señal. La figura 6.8 ilustra las funciones relacionadas con la modulación en un sistema de transmisión y recepción DS-CDMA. El *modulador de datos* mapea las m entradas de bits de datos codificados dentro de uno de los $M (= 2^m)$ posibles

valores reales o complejos de los símbolos de datos transmitidos. Los símbolos de datos M-arios están alimentando al circuito de esparcimiento, donde la señal resultante es filtrada y mezclada con la señal portadora (es decir, se ejecuta la modulación de expansión). Los esquemas de modulación típicos son BPSK y QPSK. Los circuitos de esparcimiento pueden ser binarios, cuaternario balanceado, cuaternario de doble canal o complejo de esparcimiento DS. Generalmente, los esquemas de modulación de esparcimiento son BPSK usando un circuito de esparcimiento binario, QPSK y O-QPSK se utilizan con un circuito cuaternario o de esparcimiento complejo.

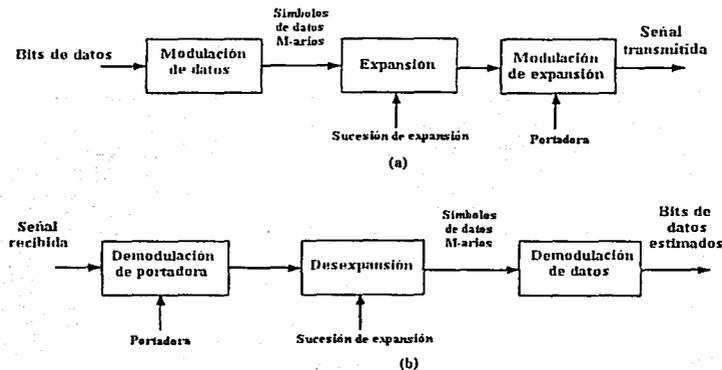


Figura 6.8: Sistema de transmisión de DS-CDMA: (a) Transmisor y (b) Receptor.

6.7.1 Modulación de Datos

La modulación de datos binarios mapea los bits de datos entrantes dentro de los símbolos de datos transmitidos con una regla de mapeo: $(1 \Rightarrow +1)$, $(0 \Rightarrow -1)$. La modulación de datos cuaternaria convierte dos bits de datos consecutivos en un símbolo de datos complejos. Generalmente, se utiliza la codificación Gray que tiene la siguiente regla de mapeo: $(00 \Rightarrow +1+j)$, $(01 \Rightarrow -1+j)$, $(11 \Rightarrow -1-j)$, $(10 \Rightarrow +1-j)$. El símbolo resultante complejo se puede transmitir con esparcimiento cuaternario o complejo. Debe comentarse que la modulación de datos cuaternaria no presenta ventajas para un sistema DS-CDMA, en comparación con la modulación de datos binaria.

Por otro lado, la demodulación puede ser no-coherente, diferencialmente coherente o simplemente coherente. La demodulación coherente requiere una referencia de fase, la cual se puede obtener de la misma señal de información o de una fuente auxiliar como símbolos de referencia externa o de una señal piloto. Así, la ganancia real lograda contra la detección no-coherente depende de la cantidad de recursos de radio gastados para símbolos de referencia o señales piloto, y de la pérdida de desempeño debido a los errores en estimación de la fase.

6.7.1.1 Modulación M-aria

Además de la modulación de datos convencional ya descrita que convierte símbolos de los datos entrantes en símbolos con valores complejos, el modulador puede convertir m símbolos de los datos entrantes en uno de M ($M=2^m$) posibles símbolos de los datos representados por K símbolos de canal. Estos pueden transmitirse usando esquemas de esparcimiento binario, cuaternario balanceado, cuaternario, o complejo. El modulador M-ario esparce la señal transmitida en el dominio de la frecuencia. Un ejemplo de cada uno de estos esquemas es el enlace ascendente de IS-95, donde se usa una modulación ortogonal 64-ario.

La elección de la tasa del código depende de la complejidad de implementación y del tiempo de coherencia del canal. Es decir, el desempeño mejora a medida que la fase del portador permanezca constante en la duración del símbolo M-ario dado.

6.7.2 Circuitos de Esparcimiento

El circuito de esparcimiento binario de secuencia directa (DS), tiene una estructura sencilla de transmisor, y solamente se necesita una secuencia PN para el esparcimiento. Su inconveniente radica en que es más susceptible a la interferencia de acceso múltiple que al esparcimiento cuaternario balanceado.

El esquema cuaternario balanceado de esparcimiento DS esparce la misma señal de datos de los canales I y Q utilizando dos sucesiones de esparcimiento. La figura 6.9, ilustra el transmisor DS cuaternario balanceado.

En el circuito de esparcimiento de canal doble QPSK, descrito en la figura 6.10, los símbolos arrojados en los canales I y Q son independientes entre sí y pueden tener potencias diferentes. De manera similar, el circuito de esparcimiento cuaternario balanceado necesita dos secuencias de esparcimiento.

La figura 6.11 describe un esquema de esparcimiento complejo, el cual utiliza una secuencia de esparcimiento igualmente compleja o dos secuencias de esparcimiento reales. Este esquema reduce el promedio pico de la señal.

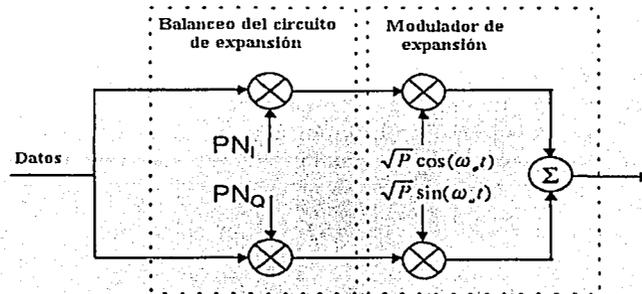


Figura 6.9: Transmisor cuaternario balanceado.

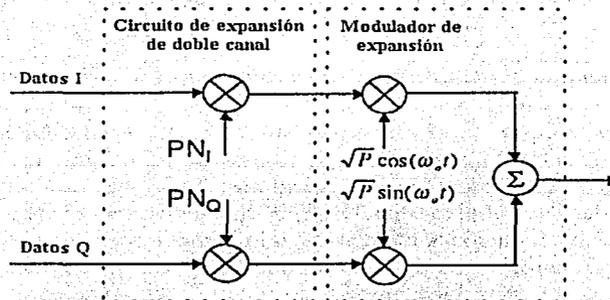


Figura 6.10: Transmisor cuaternario de doble canal.

6.7.3 Modulación de Esparcimiento

Los métodos de modulación más comunes son BPSK, QPSK y offset QPSK, debido a que ofrecen buena eficiencia de modulación. En el enlace ascendente es importante que la señal ya modulada tolere lo más posible los efectos de un amplificador de potencia no lineal puesto que un amplificador de este tipo provee de una mayor eficiencia de potencia que los lineales.

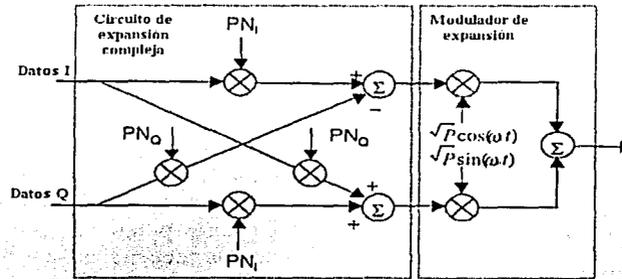


Figura 6.11: Transmisor de espaciamiento complejo.

6.7.3.1 BPSK (Modulación Binaria por Cambio de fase)

Cuando el transmisor quiere enviar un +1, transmitirá una cosenoide positiva; cuando desee enviar un -1, transmitirá una cosenoide negativa. La entrada del modulador consiste de los símbolos de datos. Los datos pueden ser ya sea +1 o -1. Los datos se multiplican por la portadora $\cos(2\pi ft)$ y por el coeficiente $(2E/T)^{1/2}$. La salida del multiplicador es la correspondiente señal modulada. La expresión analítica para BPSK es :

$$\begin{aligned} \text{Para } S = +1 \quad S_{+1}(t) &= \sqrt{\frac{2E}{T}} \cos(2\pi ft) & 0 < t < T \\ \text{Para } S = -1 \quad S_{-1}(t) &= \sqrt{\frac{2E}{T}} \cos(2\pi ft + \pi) = -\sqrt{\frac{2E}{T}} \cos(2\pi ft) & 0 < t < T \end{aligned} \quad (6-5)$$

donde E es la energía por símbolo, y T es la duración del tiempo de cada símbolo. De estas expresiones, podemos ver que la información se almacena en la fase de las señales moduladas. El modulador BPSK es fácil de implementar, ya que por sí mismo no es más que un multiplicador.

6.7.3.2 QPSK (Modulación en Cuadratura por Cambio de Fase)

El sistema IS-95 utiliza QPSK para el enlace de subida y de bajada. QPSK puede transmitir 2 bits de información por periodo de símbolo, para lo cuál se necesitan 4 símbolos. Las componentes (la trayectoria I en fase y la trayectoria Q en cuadratura) pueden combinarse sin que se interfieran mutuamente ya que son ortogonales entre sí. El enlace su subida utiliza O-QPSK la cual es una variante de QPSK, la diferencia radica en que después de agregar las secuencias PN cortas, la información en la trayectoria Q sufre un retraso de $\frac{1}{2}$ chip. Posteriormente entran ambas señales al modulador QPKS. Esto se hace para evitar una transición de 180 grados en la fase, como ocurre en la modulación APSK convencional. Cuando la transición de 180 grados ocurre, en el dominio del tiempo, la envolvente de la señal colapsa y momentáneamente alcanza el cero. Este cruce por cero demanda un rango dinámico muy alto del amplificador de potencia. Con O-QPSK, el retardo extra de $\frac{1}{2}$ chip en la trayectoria Q, asegura que no haya dichas transiciones.

En la figura 6.12 se muestran los diagramas de dispersión de los métodos de modulación BPSK, QPSK y O-QPSK.

6.8 ESQUEMAS DE CONTROL DE ERRORES

Después de que la información de la fuente se codifica en forma digital es necesario agregar cierta redundancia a esta señal digital en banda base. Esto se hace para mejorar la calidad del sistema de comunica-

ción y permitir una mejor resistencia a los efectos de deterioro del canal, tales como ruido y desvanecimiento, y al mismo tiempo mantener la potencia de la señal en un nivel razonable. El propósito es agregar bits extra a los bits de información tal que los errores puedan ser encontrados y corregidos en el receptor.

Existen dos técnicas principales en la corrección de errores:

- Solicitud de repetición automática (ARQ, *Automatic Repeat Request*)
- Corrección de errores de transmisión (anticipada) (FEC, *Forward Error Correction*)

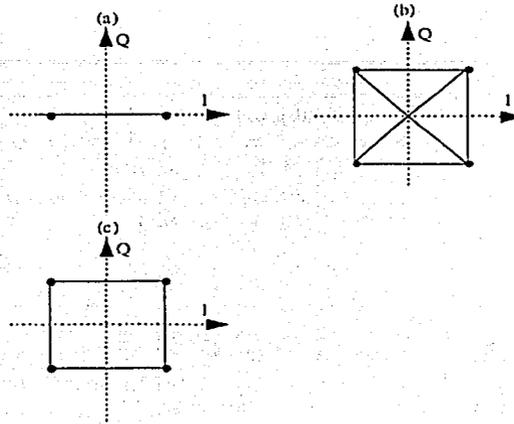


Figura 6.12: Diagramas de dispersión: (a) BPSK, (b) QPSK, y (c) O-QPSK.

En un sistema ARQ, cuando un circuito receptor detecta errores en un bloque de datos, solicita que se retransmita el bloque de datos. En un sistema FEC, los datos transmitidos se codifican de modo que el receptor pueda detectar y corregir los errores. Estos procedimientos también se clasifican como de *codificación de canal* porque se utilizan para corregir errores provocados por el ruido presente en el canal. Este procedimiento difiere de la *codificación de la fuente*. Donde el objetivo de la codificación es extraer la información esencial de la fuente y codificarla a forma digital de modo que se pueda guardarse o transmitirse mediante técnicas digitales.

Finalmente, los códigos se codifican en dos grandes categorías: códigos de bloque y códigos convolucionales.

6.8.1 Selección del Esquema de Control de Errores

La elección del esquema de control de errores depende de la calidad requerida de servicio (tasa de datos, retardo y BER) y del canal de radio. Las rigurosas tasas de errores de canal para la transmisión en un canal de desvanecimiento están típicamente en el orden de 10^{-1} a 10^{-2} . Para conversación, la tasa de error resultante después de la demodulación debe estar en el orden de 10^{-2} a 10^{-3} o mejor. Esto puede lograrse, por ejemplo, con códigos convolucionales, que es la codificación estándar para todos los sistemas celulares. Para transmisión de datos, se requiere una tasa de bits de errores de 10^{-6} o mejor. Esto puede lograrse con un esquema de codificación concatenado usando un código convolucional y de bloque -típicamente un código Reed-Solomon. Además, los servicios de datos no transparentes pueden utilizar un esquema ARQ adicional para mejorar el desempeño del error. El retardo de transmisión máximo de un servicio determina la máxima profundidad de entrelazado.

6.8.2 Códigos de Bloque y Convolucionales

Los códigos de bloque son una transformación de k símbolos binarios de entrada en n símbolos binarios de salida. Por consiguiente, el codificador de bloques es un dispositivo *sin memoria*. Puesto que $n > k$, se selecciona la codificación que produzca redundancia, tal como *bits de paridad*, los cuales son utilizados por el decodificador para corregir y detectar errores. Los códigos convolucionales tienen memoria, ya que el codificador convolucional acepta k símbolos binarios en su entrada y produce n símbolos binarios en su salida, donde los n símbolos de salida se ven afectados por $v+k$ símbolos de entrada. Se incorpora la memoria porque $v > 0$.

6.8.3 Turbo Códigos

Los códigos turbo son códigos FEC para aplicaciones celulares. Estos son códigos convolucionales recursivos concatenados paralelos o seriales, cuya decodificación se lleva a cabo iterativamente. La estructura de codificación de los códigos turbo esta basada en una combinación de dos o más códigos de control de errores débiles. Los bits de información son intercalados entre dos codificadores, generando dos flujos de paridad. Estos flujos son multiplexados y posiblemente rebajados. El proceso completo resulta ser un proceso poderoso para corrección de errores.

6.8.4 Esquemas Híbridos ARQ

Este esquema realiza la detección y corrección de errores. Por lo tanto, requiere de más bits de chequeo de paridad que un código utilizado solo para la detección de errores. Este método codifica el mensaje primario con bits de chequeo de paridad solamente para detectar errores. Si se encuentra un error, la palabra errónea se guarda en un buffer en el receptor y se realiza la retransmisión. La retransmisión es un bloque de chequeo de paridad formado del mensaje original y de un código de corrección de errores. Estos bits de chequeo de paridad son aplicados a la palabra almacenada en el receptor. En el caso de que el error persista, la siguiente transmisión tendrá la palabra original y adicionalmente un bloque de bits de chequeo de paridad.

6.8.5 Esquemas de Entrelazado

Un canal de radio produce ráfagas de errores. Sin embargo, dado que los códigos convolucionales son muy eficaces contra los errores aleatorios, se usa el entrelazado para que las ráfagas de errores sean aleatorias. El esquema de entrelazado puede ser de bloque o convolucional. Típicamente, el entrelazado de bloque se usa en aplicaciones celulares.

La mejoría de desempeño debido al entrelazado depende del orden de diversidad del canal y de la duración promedio que enfrenta el canal. La duración del entrelazado es determinado por los requerimientos de retardo del servicio. El servicio de conversación típicamente requiere un retardo más corto que los servicios de datos. Así, debe ser posible emparejar la profundidad del entrelazado a los servicios diferentes.

6.9 ESQUEMA DE MULTITASAS

El diseño multitareas se refiere a que diferentes servicios con diferentes necesidades sean multiplexados juntos utilizando el espectro de manera eficiente y flexible. La provisión de tasas de transmisión variables con diferentes requerimientos de calidad de servicio se pueden dividir en tres sub-problemas:

- Cómo ubicar diferentes tasas de bits en la banda asignada;
- Cómo proveer la calidad de servicio deseada;
- Cómo informar al receptor de las características de la señal recibida.

El primer problema está relacionado con asuntos como la transmisión multicódigo y el esparcimiento variable. El segundo problema está involucrado con los esquemas de codificación, y el tercer problema involucra al multiplexaje del canal de control y la codificación.

Además, de los requerimientos previos, el diseño de un esquema de multitasa necesita considerar otros requisitos y necesidades. Las direcciones del enlace ascendente y descendente establecen obligaciones diferentes para el esquema de multitasa. En el enlace descendente, el esquema de multitasa debe permitirle al receptor de la estación móvil ahorrar potencia de procesamiento.

6.9.1 Adaptación a Mayores Tasas de Datos

El incremento de las tasas de datos en un sistema CDMA se puede implementar, básicamente mediante dos esquemas: *factor de esparcimiento variable* (VSF) y *multicódigo*. En un esquema VSF, la razón de esparcimiento se reduce a medida que la tasa de datos se incrementa. En el esquema multicódigo, se asignan códigos paralelos adicionales a medida que la tasa de datos aumenta. También es posible combinar estos esquemas. La figura 6.13 muestra un esquema de transmisión de multicódigo, en la cual el flujo de datos de tasa alta se separa en N canales paralelos, cada uno con tasa de datos R_b . Con la transmisión multicódigo, el mapeo de los servicios simultáneamente transmitidos en las tramas puede realizarse de dos maneras. En la primera, los servicios se transmiten simultáneamente en diferentes tramas y en diferentes códigos. En la segunda, los servicios son mapeados en la misma trama, cuyos bits son posteriormente mapeados en diferentes códigos.

En la selección del esquema de transmisión de multitasa, se deben considerar los siguientes criterios:

- Desempeño en la presencia de multirayectoria;
- Características de interferencia en el acceso múltiple;
- Ortogonalidad en el enlace de bajada;
- Requerimientos en el control de potencia;
- Complejidad del receptor y transmisor.

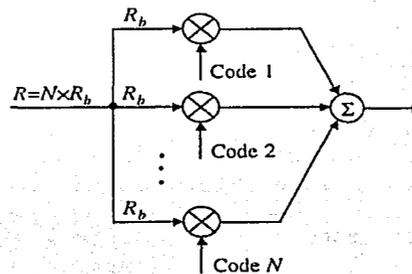


Figura 6.13: Esquema de transmisión multicódigo.

6.9.2 Transmisión de Información de Control

Para variar las tasas de datos u otros parámetros, el receptor necesita conocer la estructura de la señal recibida. Esto puede lograrse transmitiendo información de control explícita, la cual tiene los siguientes problemas a resolver:

- Codificación de la información de control para alcanzar la calidad deseada de servicio;
- Multiplexaje de la información de control;
- Posición de la información de control.

Los bits de control deben tener una menor tasa de error que los bits de información, ya que, si una palabra de control tiene un error, la trama completa se pierde. La información de control puede codificarse junto con los datos del usuario o independientemente. Además, la información de control se puede transmitir por multiplexaje de código o por multiplexaje de tiempo.

Existen dos opciones en la posición de la información de control: en la trama anterior o en la misma trama que los datos del usuario, como se ilustra en la figura 6.14. Una desventaja de la existencia de información de control errónea es la pérdida de la trama anterior o siguiente, excepto si la siguiente trama es transmitida con los mismos parámetros que la trama anterior.

Si la información de control se transmite dentro de la misma trama con los datos del usuario, entonces el receptor necesita decodificar primero la información de control. Por lo tanto, los datos deben ser almacenados.

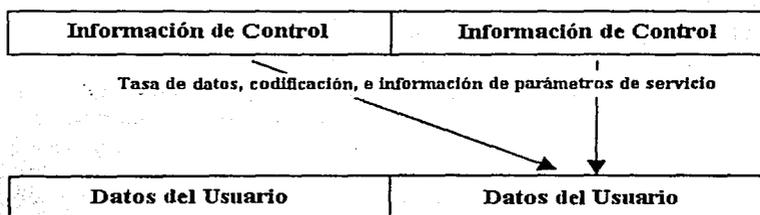


Figura 6.14: Información de control transmitida (a) en la trama anterior, (b) en la misma trama que los datos del usuario.

6.10 PAQUETES DE DATOS

Dado que los servicios de paquetes de datos en tiempo no real no son susceptibles a los retardos, utilizan un principio de retransmisión implementado con un protocolo ARQ para mejorar la tasa de error. El protocolo de retransmisión puede implementarse en la capa 2 (MAC y RLP) o en la capa física (capa 1). Si la retransmisión de los paquetes de datos se lleva a cabo como parte de la capa 2, la transmisión de los paquetes de datos en la capa física no difiere de la transmisión de datos de circuitos conmutados. De tal manera que las características discutidas anteriormente para las multitasas también se aplican a la transmisión de datos por paquetes. Si se utiliza ARQ en la capa física, ésta capa se modifica dependiendo de las características del esquema ARQ. En ambos casos, el proceso de acceso y handover para los servicios de paquetes de datos tienen ciertas implicaciones que discutiremos a continuación.

6.10.1 Procedimiento de Acceso por Paquetes

El procedimiento de acceso por paquetes en CDMA debe minimizar la interferencia hacia otros usuarios. Dado que no existe conexión entre la estación base y la estación móvil antes del procedimiento de acceso, el acceso inicial no es controlado en potencia, por lo tanto, la información transmitida durante este periodo debe ser minimizada. Existen tres escenarios para el acceso por paquetes:

1. Transmisión poco frecuente de paquetes cortos que contienen escasa información;
2. Transmisión de paquetes extensos;
3. Transmisión frecuente de paquetes cortos.

Como ya hemos visto, el canal de tráfico necesita señalización y, por lo tanto, consume recursos de radio, es mejor transmitir pequeños paquetes dentro del mensaje aleatorio de acceso sin control de potencia. Se debe asignar un canal de tráfico dedicado para la transmisión de paquetes grandes y poco frecuentes.

Si se ha reservado un canal dedicado y no hay nada que transmitir, la estación móvil termina la transmisión

o mantiene la conexión física transmitiendo sólo el control de potencia y símbolos de referencia. En el caso anterior, se mantiene una conexión virtual para restablecer rápidamente un enlace en caso de una nueva transmisión.

6.10.2 Protocolo MAC

La tarea del protocolo de acceso intermedio es compartir el medio de transmisión con diferentes usuarios de un modo justo y eficiente. Como ya se sabe, el protocolo de acceso intermedio forma parte de la capa de enlace, mientras que el esquema de acceso múltiple es parte de la capa física. El protocolo de acceso intermedio debe resolver la disputa entre los diferentes usuarios de acceder al mismo medio físico. Debido a que los sistemas de tercera generación ofrecen una gran variedad de servicios a los usuarios con diversos requerimientos y calidad de servicio, la MAC necesita ofrecer capacidades para administrar las demandas de acceso para las diferentes clases de servicios y de usuarios. Esto se puede llevar a cabo utilizando esquemas de almacenamiento y prioridad. Los servicios que sufren de retardos pueden utilizar el esquema de almacenamiento para reservar capacidad que garantice la calidad del servicio. Los esquemas de prioridad nos pueden servir para jerarquizar las demandas de los servicios.

6.10.3 Handover de Paquetes de Datos

Debido a que CDMA opera con un factor de reuso de uno, necesita un handover eficiente y rápido para evitar interferencia excesiva de otras células. Esto se ha llevado a cabo con el handover suave en el caso de las conexiones de circuitos conmutados. Para las conexiones de paquetes, especialmente para paquetes pequeños, no es un requisito establecer el handover suave incluso si el usuario se encuentra en la orilla de una célula. Sin embargo, aún persiste la necesidad de enrutar los paquetes por medio de la estación base que proporciona la mejor conexión. Esto es más importante con frecuentes transmisiones de paquetes que con transmisiones esporádicas. Esto se puede implementar con una reprogramación de la frecuencia de transmisión de los paquetes de datos (es decir, si la transmisión excede un tiempo predeterminado, se realiza una reprogramación y la estación base elige la mejor conexión disponible).

Si se utiliza el handover suave, la implementación del ARQ depende de dónde éste se termina (es decir, de donde se realiza la decisión de retransmisión dentro de la red). Si el ARQ se termina después del handover suave que combina dispositivos que generalmente están situados en el BSC, entonces el ARQ es implementado sin handover suave. El único inconveniente de esta solución es que este aumenta el retardo en la retransmisión debido a la transmisión entre la BTS y la BSC por la red fija.

Si el ARQ se termina en la BTS antes que el handover cambie de dispositivos, se requiere un protocolo más complicado. La estación móvil transmite un paquete en la dirección del enlace ascendente. Dado que todas las estaciones base involucradas en el handover reciben el paquete y cada una de ellas realiza una decisión independiente de que si el paquete contiene errores o no, el problema es cómo transmitir y coordinar las condiciones de retransmisión. Sin embargo, se puede necesitar un canal de retorno en ambos enlaces. Además, no sería posible combinar la información proveniente de los dos enlaces como la información de control de potencia, ya que las reconocidas son codificadas. Por lo tanto, este esquema resulta impráctico.

6.11 TRANSCÉPTOR

A continuación, se analizan las funciones del receptor y transmisor de las estaciones móvil y base, y su relación global en el diseño del sistema.

6.11.1 Receptor

En la figura 6.15, se muestra el diagrama a bloques de un receptor RAKE. Un receptor RAKE desaparece la señal recibida con un correlacionador. Para la demodulación coherente, la señal desaparecida es multiplicada

por una amplitud compleja para corregir el error de fase y ponderar cada dedo (*finger*), según la estrategia de combinación seleccionada. El bloque de medición de la respuesta impulso (*IR*) continuamente mide los perfiles de multitrayectoria. Siempre que los retardos de las respuestas impulso cambien, el bloque asignará nuevas fases de código al bloque de rastreo de código, que a su vez, rastreará los cambios pequeños. Después de combinar las señales de los diferentes dedos del receptor RAKE, desentrelazar y decodificar el código del canal se ejecuta. Adicionalmente, un buscador (*searcher*), que no es mostrado en la figura, está continuamente examinando los canales piloto de las células vecinas para proporcionar mediciones del canal piloto para la transferencia de llamada.

El número de dedos del receptor RAKE depende del perfil del canal y de la tasa chip (a una mayor tasa chip, se tienen más trayectorias de solución). Sin embargo, se necesita un número mayor de dedos en el receptor RAKE para captar toda la energía del canal y mantener un buen desempeño. No obstante, el tener un número muy grande de dedos en el receptor RAKE conduce a pérdidas por combinación.

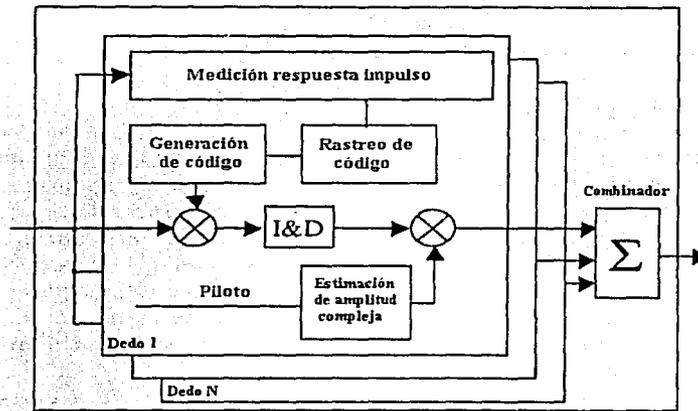


Figura 6.15: Diagrama de bloques del receptor RAKE de CDMA.

6.11.1.1 Medición de la respuesta impulso

El bloque de medición de la respuesta impulso correlaciona la señal recibida con diferentes fases del código piloto para encontrar los componentes de multitrayectoria. La velocidad requerida para la medición IR depende de la velocidad de la unidad móvil y del ambiente de radio. Mientras más rápido se este moviendo una estación móvil, se necesitará realizar una medición más rápida para que los dedos del receptor RAKE capturen los mejores componentes de multitrayectoria. Además, de las funciones de medición, este bloque realiza la asignación a los dedos del receptor RAKE (es decir, asigna los componentes de multitrayectoria a los dedos del receptor). Para la asignación de código, pueden aplicarse estrategias diferentes. La asignación puede hacerse después de haber sido medida toda la respuesta impulso o inmediatamente después de haber encontrado suficientes componentes de multitrayectoria.

6.11.1.2 Adquisición de código

La adquisición de código se realiza antes de la adquisición de sincronización del sistema. La estación móvil examina a través de las señales piloto. Un orden de prioridad para las señales piloto puede estar basado en el último canal piloto y los canales pilotos vecinos. Si la conexión se pierde por alguna razón, se empiezan a examinar los canales piloto de más alta prioridad. En el caso de interferencia alta, la adquisición de código

podría volverse un cuello de botella del sistema. En la figura 6.16 se muestra un filtro igualador (*matched*) que puede usarse para una rápida adquisición de código.

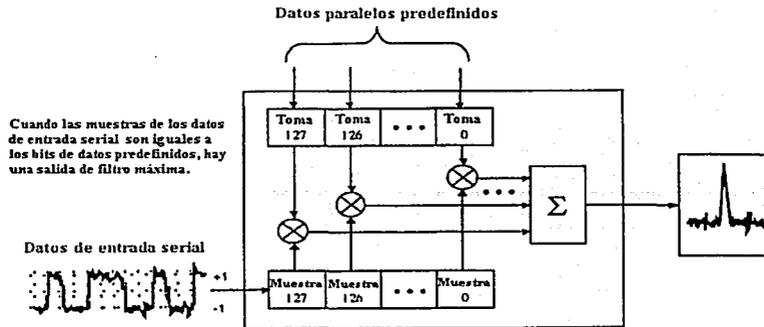


Figura 6.16: Filtro igualador.

6.11.1.3 Rastreo de código

La implementación típica de un lazo de rastreo de código es el principio del fin del lazo de retardo cerrado. El desempeño del lazo de rastreo depende del ancho de banda del lazo. Así también, se dependen de la estrategia de detección (es decir, si se aplica la detección convencional o multiusuario).

6.11.1.4 Estimación de amplitud compleja

La estimación de amplitud compleja incluye la estimación de amplitud y de fase. En el caso de una relación de combinación máxima, la señal es ponderada con el complejo conjugado de la amplitud. Por otro lado, si se realiza una combinación de igual ganancia, sólo se corrige el error de fase, y cada dedo del receptor RAKE es considerado con igual peso. La estimación de amplitud compleja necesita ser promediada sobre un periodo bastante largo, mientras el tiempo de coherencia fija el límite superior para el tiempo promediado (es decir, el canal no debe cambiar durante la estimación).

6.11.1.5 Buscador

Un buscador examina a otros canales piloto de la célula. Durante una llamada, la estación móvil está examinando por medio de las señales piloto, así como, midiendo la interferencia del enlace descendente y, posiblemente recibiendo resultados de interferencia del enlace ascendente. Ya que el número de canales piloto es muy grande, podría tomar un largo tiempo el darse cuenta de un creciente canal piloto en un grupo vecino. De esta manera, el tiempo del buscador puede limitar el desempeño del sistema, especialmente en un ambiente micro celular, donde una nueva estación base puede llegar a estar activa muy rápido debido al efecto de esquina (*corner*).

Finalmente, el número de dedos del buscador depende de la velocidad deseada para examinar el canal piloto.

6.11.1 Transmisor

En la figura 6.17 se muestra un diagrama a bloques de un transmisor DS-CDMA. Los datos que vienen de la fuente son enviados al bloque de codificación de canal, entrelazado, y donde son multiplexados los diferentes

servicios. Las tramas resultantes se pasan a través del bloque de expansión y filtrado; posteriormente, pasan al bloque de conversión D/A y partes de FI; finalmente, pasan por el bloque de partes de RF. Los parámetros de transmisión son controlados por el bloque de control de transmisión.

El componente más importante desde el punto de vista de complejidad y costo es el amplificador de potencia en la sección de RF, especialmente para la estación móvil. Un amplificador de potencia no lineal puede operarse cerca del punto de compresión, y así, se tiene una buena eficiencia de potencia, resultando en un bajo consumo de batería.

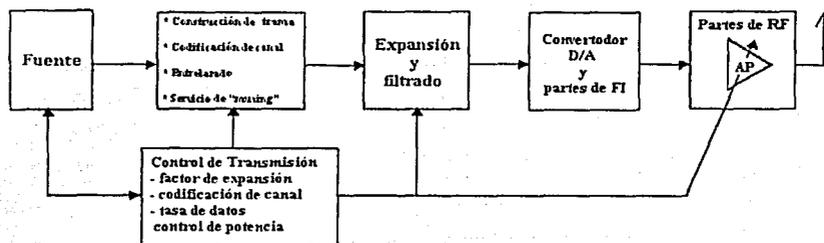


Figura 6.17: Diagrama de bloques del Transmisor.

6.11.2.1 Diversidad de transmisión

El desempeño del enlace de bajada puede mejorarse por la diversidad de transmisión. Hasta ahora, en los sistemas de CDMA, el retardo de diversidad de transmisión se ha aplicado. Sin embargo, tiene dos desventajas principales: las pérdidas de ortogonalidad que resultan de la interferencia, y los requerimientos para los dedos del receptor RAKE adicionales en la estación móvil.

La diversidad de transmisión por división de tiempo (*TDTD*) puede llevarse a cabo por la señalización ortogonal de tiempo. En una implementación más óptima, las antenas de transmisión son determinadas usando la selección de antena de lazo cerrado (*CLAS*). Dando como resultado el concepto de diversidad de transmisión selectiva (*STD*), que para ser efectiva, requiere que el retardo del control de lazo se mantenga dentro del tiempo de canal de coherencia.

En la diversidad de transmisión por división de código (*CTDT*), los bits codificados se distribuyen a más de una antena, y todas las antenas transmiten simultáneamente a un usuario dado. En la diversidad de transmisión ortogonal (*OTD*), los diferentes códigos ortogonales para cada antena se usan para eliminar la interferencia de espaciamiento en el desvanecimiento.

En CDMA de portadora múltiple, la diversidad del transmisor puede ser implementada transmitiendo las portadoras en múltiples antenas. Una o más portadoras son mapeadas por una antena. Ya que las señales transmitidas a través de diferentes antenas experimentan desvanecimientos independientes, mejorando su desempeño.

6.12 DETECCIÓN MULTIUSUARIO

La detección multiusuario (*MUD*) y la cancelación de interferencia (*IC*) buscan mejorar el desempeño del sistema, cancelando la interferencia intra-celular y aumentando la capacidad del sistema. El incremento de la capacidad actual depende de la eficacia del algoritmo, del ambiente de radio, y la carga del sistema. Además, de mejorar la capacidad, el *MUD* y la *IC* mitigan el problema de cercanía/lejanía (*near/far*) típico en los sistemas DS-CDMA.

En la figure 6.18 se describe un sistema que usa detección multiusuario y cancelación de interferencia. Cada

usuario está transmitiendo bits de datos, que son esparcidos por los códigos de esparcimiento. Las señales se transmiten sobre un canal de acceso múltiple Gaussiano. En el receptor, la señal recibida es correlacionada con réplicas de los códigos de esparcimiento del usuario. El correlacionador consiste en un multiplicador, un integrador y una función de descarga (*dump*); además, puede también incluir un filtro igualador. En los procesos de detección multiusuario la señal de los correlacionadores remueve la interferencia de acceso múltiple no deseada de la señal deseada. Finalmente, a la salida del bloque de detección multiusuario se obtendrán los bits de datos estimados.

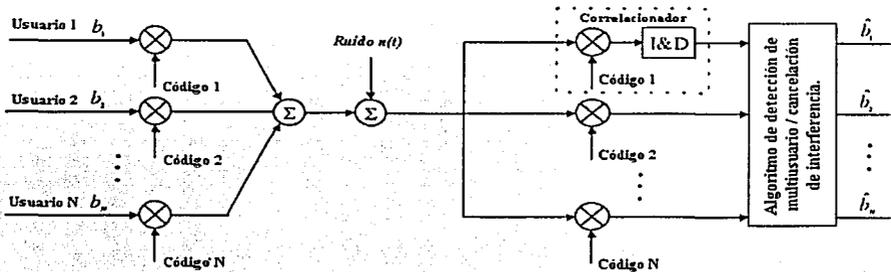


Figura 6.18: Modelo de sistema de detección multiusuario.

6.12.1 Mejoría de la Capacidad y Cobertura

El desempeño del detector multiusuario depende de la energía capturada y del impacto de los errores de fase y de rastreo de código. La fracción de energía capturada es una función de la duración chip multiplicada por el número de ramas del receptor RAKE dividido por el retardo de esparcimiento.

Idealmente, la MUD puede mejorar la capacidad del sistema en un factor de 2.8, comparado a un sistema sin MUD. Sin embargo, en la práctica la eficiencia del MUD no es del 100 % ya que depende del esquema de detección, estimación del canal, estimación de retardo, y del error de control de potencia.

El impacto del MUD en la cobertura introduce una nueva variable al proceso de planeación de la red, ya que la eficiencia del MUD necesita ser tomada en cuenta en el diseño de la cobertura. Por otro lado, el factor de carga no es tan crucial para el diseño del área de cobertura, ya que el tamaño de la célula no disminuye tan rápido como aumenta la carga en el detector convencional. Sin embargo, debido a los códigos ortogonales, el impacto podría ser diferente en el enlace ascendente y descendente, especialmente si el MUD sólo se aplica en el enlace ascendente. Esto debido a que en ambientes de radio con bajo retardo de esparcimiento, la cobertura del enlace de bajada no depende fuertemente de la carga.

6.12.2 Algoritmos de Detección Multiusuario

En la figura 6.19 se describe la clasificación de algoritmos de detección multiusuario. La detección multiusuario puede ser óptima o sub-óptima. Los algoritmos de detección multiusuario sub-óptimos pueden ser clasificados en algoritmos del tipo lineal y de cancelación de interferencia. Algunos detectores también pueden ser clasificados en ambas categorías.

Otra manera de clasificar los algoritmos de detección multiusuario es por algoritmos lineales y no lineales. Sin embargo, en esta clasificación un mismo algoritmo puede pertenecer a ambas categorías dependiendo de la aplicación.

La detección multiusuario óptima consiste en un filtro igualador seguido por un detector de sucesión de máxima probabilidad, implementado por un algoritmo de programación dinámica.

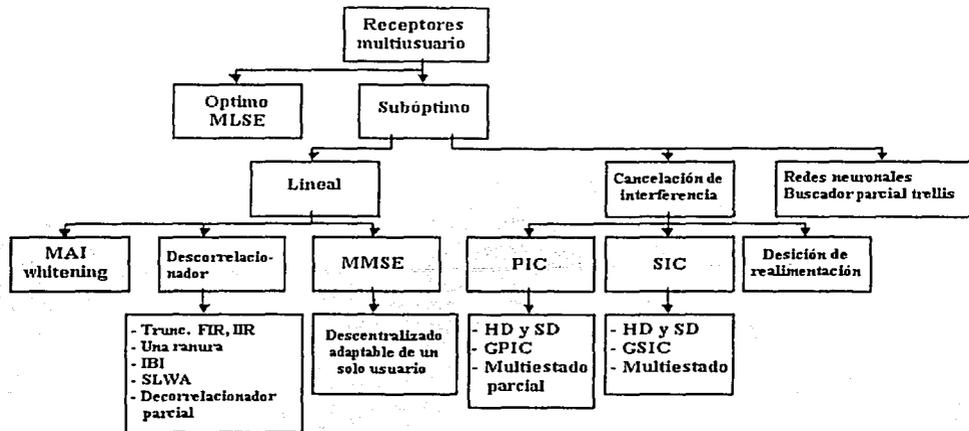


Figura 6.19: Clasificación de la Detección Multiusuario.

6.12.2.1 Detectores lineales

El descorrelacionador (o *detector de cero forzado*) multiplica las salidas del filtro igualador por la matriz inversa de correlación. Una ventaja de este detector es que las amplitudes de las señales recibidas no tienen que ser conocidas. Por otro lado, el proceso de ruido recibido también se filtra con la matriz inversa, de aquí el incremento en la potencia del ruido. Este es proporcional a las correlaciones mutuas de los usuarios. Ya que el descorrelacionador es un detector de sucesión, el proceso de detección no puede empezar hasta que toda la sucesión transmitida sea recibida en el receptor. En la práctica esto no es factible y podría resultar un retardo muy largo. Por consiguiente, se han propuesto varios esquemas de descorrelacionadores de retardo finito (ver figura 6.19). El descorrelacionador parcial pertenece a la familia de los detectores de realimentación de decisión no lineal, y son caracterizados típicamente por un filtro “feedforward” y un filtro de realimentación no lineal.

Otro receptor lineal es el LMMSE (*linear minimum mean square error*), que, a diferencia del descorrelacionador, no refuerza al ruido. Su principal interés está en las aplicaciones descentralizadas adaptables que son especialmente atractivas para la implementación en estaciones móviles. Finalmente, los filtros “MAI-whitening” son otros ejemplos de receptores lineales descentralizados, y modelan la interferencia de acceso múltiple como ruido coloreado.

6.12.2.2 Cancelación de interferencia

El fin de la cancelación de interferencia es estimar la interferencia de acceso múltiple y la inducida por multitraectoria, y entonces deducir la estimación de interferencia. La cancelación de interferencia sucesiva (*SIC*) cancela la estimación de interferencia usuario por usuario, mientras que, la cancelación de interferencia paralela (*PIC*) cancela la interferencia de todos los usuarios simultáneamente. Los algoritmos de grupo amplio (*group-wise*) detectan símbolos dentro de un grupo dado y cancelan la interferencia en aquel grupo de otros usuarios. Los algoritmos de cancelación de interferencia de multi-estado mejoran las estimaciones de interferencia reiterativamente. Si se utilizan decisiones de datos provisionales, el esquema se llama *cancelación de interferencia de decisión dura* (HD). Si no se utilizan, el esquema se llama *cancelación de interferencia de decisión suave* (SD).

6.12.3 Modelo de Sistema y Formulación del Algoritmo de MUD

A continuación, se presenta el modelo estándar del enlace ascendente del sistema DS-CDMA con K usuarios. Los datos modulados por BPSK de cada usuario son esparcidos multiplicando la señal de datos modulados por una sucesión seudo aleatoria. La señal compuesta después de pasar por el canal y entrar a la estación base puede modelarse como

$$r(t) = \sum_{k=1}^K s_k(t - \tau_k) + n(t) \quad (6-6)$$

donde τ_k es el retardo de la señal transmitida por el k -enésimo usuario, y $n(t)$ es el canal AWGN complejo con densidad espectral de potencia de "two-sided" σ^2 . La señal del k -enésimo usuario es dada como

$$s_k(t - \tau_k) = \sqrt{2P_k} \sum_i b_k(i) a_k(t - iT - \tau_k) e^{j\phi_k} \quad (6-7)$$

donde P_k es la potencia del k -enésimo usuario, $b_k(i)$ son los datos modulados en BPSK para el k -enésimo usuario transmitidos en un tiempo i , ϕ_k es la fase de la señal recibida del k -enésimo usuario, y $a_k(t)$ es la forma de onda esparcida dada por

$$c_k(t) = \sum_{i=1}^G c_k^{(i)} p(t - iT) \quad (6-8)$$

donde G es el número de chips, $c_k^{(i)} \in \pm 1$, y $p(t)$ es la forma del pulso de un chip con duración T_c .

El detector convencional (filtro igualador o receptor correlacionador) puede ser modelado como sigue. La salida del filtro igualador para el usuario k es

$$y_k(i) = \int \text{Re}\{r(t) e^{-j\phi_k}\} c_k(t - iT - \delta_k) dt \quad (6-9)$$

donde ϕ_k y δ_k son la fase y el tiempo de retardo estimados, respectivamente.

Los bits estimados son entonces dados como

$$b_k(i) = \text{sgn}(y_k(i)) \quad (6-10)$$

6.12.3.1 Decorrelacionador

Para el decorrelacionador, la salida de los filtros igualadores puede expresarse en forma de matriz usando:

$$\mathbf{y} = \mathbf{R}\mathbf{W}\mathbf{b} + \mathbf{n} \quad (6-11)$$

donde

$$\mathbf{y} = [y^T(1), y^T(2), \dots, y^T(M)]^T \quad (6-12)$$

$$\mathbf{y}(i) = [y_1(i), y_2(i), \dots, y_{k1}(i)]^T \quad (6-13)$$

$$\mathbf{b} = [\mathbf{b}^T(1), \mathbf{b}^T(2), \dots, \mathbf{b}^T(M)]^T \quad (6-14)$$

$$\mathbf{b}(i) = [b_1(i), b_2(i), \dots, b_{k1}(i)]^T \quad (6-15)$$

donde M es el número de símbolos en el bloque. La matriz de correlación es dada por

$$\mathbf{R} = \begin{bmatrix} \mathbf{R}(0) & \mathbf{R}(-1) & \mathbf{0} & \dots & \mathbf{0} & \mathbf{0} \\ \mathbf{R}(1) & \mathbf{R}(0) & \mathbf{R}(-1) & \mathbf{0} & \dots & \mathbf{0} \\ \vdots & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & \vdots \\ \mathbf{0} & \dots & \mathbf{0} & \mathbf{R}(1) & \mathbf{R}(0) & \mathbf{R}(-1) \\ \mathbf{0} & \mathbf{0} & \dots & \mathbf{0} & \mathbf{R}(1) & \mathbf{R}(0) \end{bmatrix} \quad (6-16)$$

donde las entradas en la matriz de correlación $\mathbf{R}(i)$ son dadas por

$$\mathbf{R}_{klR}(i) = \cos(\phi_k - \phi_l) \int a_k(t - \tau_k) a_l(t + iT + \tau_l) dt \quad (6-17)$$

El vector de ruido \mathbf{n} es Gaussiano aditivo y coloreado. La matriz de amplitud \mathbf{W} es una matriz diagonal que contiene las amplitudes de todos los usuarios. Ahora, la salida de decisión del decorrelacionador es dada por

$$\mathbf{b} = \text{sgn}(\mathbf{R}^{-1} \mathbf{y}) \quad (6-18)$$

6.12.3.2 MMSE

El receptor MMSE realiza una transformación lineal en las salidas del filtro igualador que minimiza el error cuadrado significativo (*MSE, mean square error*). Los bits detectados se obtienen de

$$\mathbf{b}(i) = \text{sgn}[(\mathbf{R} + \sigma^2 \mathbf{W}^{-2})^{-1} \mathbf{y}] \quad (6-19)$$

6.12.3.3 Cancelación de interferencia paralela (PIC)

El receptor PIC detecta al mismo tiempo a todos los usuarios y entonces cancela la interferencia simultáneamente. Aplica el principio de multi-estado, y la señal recibida en el estado n esta dada por

$$r_k^{(n)}(t) = r^{(n-1)}(t) - \sum_{l=1}^K s_l(t - \tau_l) \quad (6-20)$$

6.12.3.4 Cancelación de interferencia serial (SIC)

El receptor SIC cancela a un usuario a la vez. Ordena a los usuarios de acuerdo a sus potencias, cancelando primero a los usuarios con más alta potencia. La señal recibida para un usuario k' después de cancelar a los $k'-1$ usuarios esta dada por

$$r_k'(t) = r(t) - \sum_{l=1}^K s_l(t - \tau_l) \quad (6-21)$$

6.12.4 Aspectos de Diseño para la Detección Multiusuario

6.12.4.1 Enlace ascendente contra enlace descendente

El enlace ascendente y descendente tienen características diferentes que impactan el diseño del esquema del MUD. El enlace ascendente es asíncrono (es decir, los tiempos de transmisión de los usuarios son independientes uno con respecto al otro). Los retardos de propagación para la gama de células de 1 a 30 Km son de 3 a 100 μ s, introduciendo una cantidad significativa de interferencia de intersímbolo entre los símbolos de usuarios diferentes. El enlace descendente es síncrono, y, en contraste con las estaciones base, una estación móvil necesita detectar sólo su propia señal. Típicamente, se usan códigos ortogonales en el enlace descendente, pero la propagación de multitrayectoria parcialmente destruye la ortogonalidad. La ganancia adicional del detector multiusuario depende del perfil de la multitrayectoria.

Ya que una estación móvil está sólo interesada en demodular su propia señal, una estrategia de detección multiusuario diferente al de la estación base podría aplicarse para reducir la complejidad en la estación móvil, mientras todavía mejora el desempeño por encima del detector convencional. En el enlace descendente, los canales de control comunes causan también interferencia.

6.12.4.2 Estimación del parámetro multiusuario

Los detectores multiusuario coherentes requieren del conocimiento de los coeficientes complejos del canal, las fases de la portadora, y los retardos de propagación. Aunque pueden usarse métodos convencionales para la estimación del parámetro, se lograrían mejores resultados con métodos que tomarán en cuenta la interferencia de otros usuarios.

El receptor MLSE óptimo estima las amplitudes complejas recibidas y multiplica el banco de salidas del filtro igualador con éstas. En implementaciones sub-óptimas, la detección de datos y la estimación de coeficientes complejos del canal son desacoplados uno con respecto al otro (es decir, la detección multiusuario se aplica a los datos), mientras la amplitud y fase para cada usuario se recuperan independientemente una con respecto a otra. La estimación de canal puede ser ya sea una decisión de realimentación (decisión dirigida) o una estimación de canal "feedforward" (datos de ayuda).

Los métodos de estimación de retardo de multiusuario incluyen la estimación óptima ML, métodos de subespacio, el método jerárquico de máxima probabilidad, y estimadores de retardo basados en PIC. Sin embargo, los métodos de subespacio no parecen ser convenientes para desvanecimiento rápido, ya que los canales de multitrayectoria tienen una SNR menor de 10 dB.

6.12.4.3 Opciones de diseño de sistema

Ya que la detección multiusuario es muy compleja, se tiene que hacer un intercambio (*trade-off*) entre la complejidad y el desempeño. Aunque la detección multiusuario es una técnica del receptor, podría tener un impacto en el diseño del sistema debido a su grande complejidad, mientras un apropiado diseño del sistema podría facilitar la implementación de la detección multiusuario. Por lo tanto, si se usan códigos cortos entonces la implementación de la detección multiusuario es más fácil.

6.12.5 Elección del Algoritmo de Detector Multiusuario

En la elección de un algoritmo de detección multiusuario práctico se deben de considerar los siguientes criterios:

- Complejidad;
- Desempeño.

6.12.5.1 Complejidad

La complejidad de la implementación final de un receptor de detector multiusuario depende de la arquitectura seleccionada, y no puede estimarse sin un análisis detallado de los algoritmos para el nivel de implementación ASIC y DSP.

La implementación ideal de los detectores lineales, tales como el decorrelacionador y el MMSE tiene dependencia cúbica en el número de usuarios que cronometran el número de componentes de multitrayectoria. Por consiguiente, algoritmos iterativos tal como el método de gradiente conjugado (CG) ha sido propuesto par llevarlo a cabo. El algoritmo del gradiente conjugado preconditionado (PCG) parece ser uno de los algoritmos más simples para la detección multiusuario lineal. El algoritmo PCG iterativo es muy complejo y escasamente factible desde un punto de vista de implementación, sobre todo si se usan códigos largos esparcidos.

El algoritmo regenerativo SIC tiene una baja complejidad. La alta tasa de reloj, sin embargo, limita el número de usuarios en el proceso de cancelación. Por otra parte, puede reducirse la alta tasa de reloj aumentando el retardo de la detección. Así, desde un punto de vista de complejidad, el receptor PIC parece ser el mejor en ajustarse a los sistemas con códigos largos esparcidos.

6.12.5.2 Desempeño

El impacto de los errores de fase no solo es muy grande en cualquier receptor de detección multiusuario, sino es mucho menos severo que los errores de retardo. Además, parece que el desempeño de todos los detectores se deteriora igualmente conforme el error de la fase aumenta.

En el plano del desvanecimiento Rayleigh el desempeño de todos los detectores es casi igual. El desempeño del desvanecimiento de frecuencia selectiva Rayleigh en los receptores SD-PIC y SD-SIC es ligeramente peor al desempeño de los receptores lineales. La razón es la interferencia de acceso múltiple inducida por la multitrayectoria, que degrada la estimación de las ganancias del canal. Los receptores de decorrelación y MMSE no necesitan estimación separada de las ganancias del canal. Ya que el receptor HD-PIC puede usar estimaciones separadas de las ganancias del canal, su desempeño no se degrada con mucho.

En un canal AWGN todos los detectores se degradan igualmente de rápido como aumentan los errores de retardo. En un canal de desvanecimiento Rayleigh, sin embargo, el desempeño de los receptores de decorrelación y MMSE se degradan más rápidamente a la desviación estándar de chip 0.1. Así, el desempeño de los receptores llega a estar más cercana, y para errores de retardo más grandes el desempeño es casi igual.

Para el detector convencional la degradación es más pequeña. Es decir, el desempeño de este detector sólo se deteriora debido a la reducción de la energía en el proceso de correlación. En los algoritmos de detección multiusuario, el error también impacta a las estimaciones de la interferencia de acceso múltiple, y así, el error de retardo de un usuario impacta a todas las señales de otros usuarios también. Sin embargo, en la presencia de errores de estimación de retardo, el desempeño del efecto de cercanía/lejanía se degrada y todos los esquemas se acercan unos a otros en desempeño.

6.12.5.3 MUD y Control de potencia

Dado que todos los detectores multiusuario están, en la práctica, limitados por el efecto de cercanía/lejanía (*near/far*), el control de potencia se requiere aun cuando se usa el MUD. En el enlace ascendente, el rápido control de potencia mejora el desempeño de tres maneras: igualando la potencia de los usuarios, el efecto de cercanía/lejanía se mitiga; compensando el desvanecimiento de canal, se mejora el desempeño de E_b/N_0 ; y disminuyendo la potencia de transmisión, la vida de la batería de las estaciones móviles aumenta y la interferencia intercelular se reduce. Así, aún con detector multiusuario es importante usar el control de potencia.

En el enlace descendente, el control de potencia también mejora el desempeño en contra del desvanecimiento, es decir, aumenta las diferencias de potencia entre las señales recibidas por la estación móvil. La detección multiusuario puede ofrecer las más grandes diferencias entre los niveles de potencia y, así, ofrecer

una mejor compensación del desvanecimiento profundo.

El rápido control de potencia intenta compensar el efecto de desvanecimiento rápido. El control de potencia tiene el más grande impacto en el desempeño del esquema SIC. El esquema SIC se desempeña mejor cuando las potencias de los usuarios son diferentes. Éste es obviamente el caso para potencias instantáneas en desvanecimiento Rayleigh.

Se sabe bien que el control de potencia imperfecto degrada el desempeño del detector convencional. Por otra parte, el control de potencia imperfecto tiene dos efectos en el desempeño del receptor. Dado que el desvanecimiento no se compensa perfectamente, el desempeño se degrada. Además, potencias desiguales debido al control de potencia imperfecto conduce a una situación del efecto de cercanía/lejanía. Así, el control de potencia imperfecto también degradará el desempeño del detector multiusuario.

Finalmente, el error de control de potencia puede ser modelado como una distribución "log-normal" de variable aleatoria.

6.13 PROCEDIMIENTO DE ACCESO ALEATORIO

El acceso aleatorio es un proceso en donde una estación móvil hace una petición de acceso al sistema, y la red contesta la petición y asigna un canal de tráfico a la estación móvil. El acceso aleatorio se ejecuta cuando la potencia de una estación móvil es enciende o la sincronización es pérdida por alguna razón. Además, el acceso aleatorio se transmite por medio de la transmisión de paquetes de datos siempre que haya algo que transmitir. Antes de que el acceso aleatorio se pueda ejecutar, se necesitan realizar los siguientes pasos:

- Sincronización de código y trama;
- Recuperación de parámetros de la célula, tal como código de acceso aleatorio;
- Estimación de la trayectoria de pérdidas del enlace descendente y el nivel de potencia inicial para el acceso aleatorio.

Los criterios de optimización para el procedimiento de acceso aleatorio son la *velocidad del proceso* y la *baja potencia de transmisión*. Las condiciones para la velocidad del procedimiento de acceso aleatorio dependen de los requerimientos de tiempo de la sincronización inicial. El número de canales de acceso dependen de la carga de acceso anticipada. La información transmitida durante el estado de acceso aleatorio tendrá un efecto en esto. Dado que la potencia de transmisión excesiva degrada la capacidad del sistema CDMA, es importante reducir la potencia total transmitida durante el estado de acceso aleatorio. Esto es especialmente importante porque durante el acceso aleatorio la potencia de transmisión no puede ser controlada por el rápido control de potencia de lazo cerrado. Si la transmisión inicial ocurre con un potencia muy baja, entonces el acceso puede tomar un largo tiempo. Por otro lado, una potencia de transmisión alta durante el acceso inicial resulta en una sincronización rápida pero causa una mayor interferencia a otros usuarios durante el periodo de sincronización.

La mínima información que necesita ser transmitido durante un intento de acceso aleatorio es un tipo de identificación de la unidad móvil. La negociación del canal de tráfico actual y del contrato de servicio pueden llevarse a cabo en un canal no público. Esto puede realizarse en un estado más tarde. Un típico mensaje de acceso aleatorio consiste de preámbulo, parte de sincronización, y parte de datos, como se muestra en la figura 6.20. La parte de los datos contiene, por lo menos, la identificación de la estación móvil; mientras el preámbulo es una demodulada señal esparcida de banda ancha.



Figura 6.20: Mensaje de acceso aleatorio.

6.14 HANDOVER

A continuación, se definen los diferentes tipos de transferencia de llamada (*handover*) que pueden usarse en los sistemas CDMA.

6.14.1 Definiciones

En un *handover* suave una estación móvil se conecta simultáneamente a más de una estación base. El *handover inactivo* (idle) ocurre cuando la estación móvil está en estado inactivo (es decir, no tiene una conexión activa). El *handover duro* ocurre cuando sólo un canal de tráfico está disponible en un momento dado. El *handover más suave* significa un *handover* suave entre los sectores de una misma célula. El *handover de interfrecuencia* significa un *handover* entre dos frecuencias diferentes. El *handover* de intra-sistema es un *handover* entre dos sistemas (es decir, de un sistema de segunda generación a un sistema de tercera generación).

El *conjunto activo* consiste de las estaciones base involucradas en el *handover* suave con la estación móvil dada. Si el conjunto activo se cambia, ocurre una *actualización del conjunto activo*. El *conjunto de candidatos* consiste de las estaciones base que satisfacen el criterio para ser incluidas al conjunto activo pero no han sido todavía incluidas en éste. El *conjunto vecino* contiene las estaciones base que son candidatos probables para el *handover* suave. Estas son normalmente estaciones base cuyas áreas de cobertura geográficas están cercanas a la estación móvil. El *conjunto restante* contiene todas las estaciones base excluidas de los otros conjuntos. El *conjunto de desecho* se define para ser el conjunto de estaciones base que pertenecen al conjunto activo actual pero van a ser dadas de baja del conjunto activo dado que ellas ya no cumplen el criterio de éste.

6.14.2 Procedimiento de Handover

El procedimiento de *handover* puede ser dividido en tres fases: *medición*, *decisión*, y *fase de ejecución*, como se muestra en la figura 6.21. En la fase de medición, las mediciones típicas del enlace descendente realizadas por la estación móvil son la calidad de la señal y la energía de las señales de su célula y células vecinas. En el enlace ascendente, la estación base mide la calidad de la señal. Los resultados de la medición son señalados a los elementos de la red pertinentes, a las estaciones móviles, y al controlador de la estación base (*BSC*).

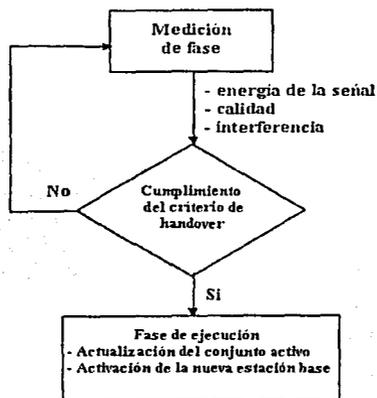


Figura 6.21: Fases del procedimiento de handover.

En la fase de decisión, o fase de la evaluación, los resultados medidos se comparan contra los umbrales predefinidos y se decide si debe de iniciarse el proceso de handover o no. Además, el control de admisión se ejecuta para verificar que el nuevo usuario puede acomodarse en la nueva célula sin degradar la calidad de los usuarios existentes. En la fase de ejecución, la estación móvil entra al estado de handover suave, una nueva estación base se agrega o se libera, o se realiza el proceso de handover de interfrecuencia.

6.14.3 Handover Suave

El handover suave es una de las características más discutidas de los sistemas CDMA. Por un lado, este trae un aumento en el desempeño incrementando la diversidad, pero, por el otro lado es necesario en un sistema CDMA para evitar la interferencia excesiva de las células vecinas. El incremento en la diversidad viene de aumentar las conexiones de retroceso (*backhaul*) en la red.

6.14.3.1 Decisión de handover

En IS-95, la decisión de handover esta basada en las mediciones de la energía piloto en sólo el enlace de bajada. Para sistemas de tercera generación WCDMA con tráfico asimétrico, más parámetros de decisión son necesarios. De estos los siguientes parámetros pueden ser identificados:

- Atenuación por distancia;
- Interferencia de enlace ascendente;
- Interferencia de enlace descendente.

La selección de una célula con una carga alta en el enlace ascendente pero con una atenuación por distancia baja, en lugar de una célula con una carga baja en el enlace ascendente pero una atenuación por distancia ligeramente más alta, resultará en una potencia de transmisión más alta de la estación móvil. De esta manera, es importante tomar en cuenta la situación de interferencia del enlace ascendente en la decisión de handover. En la figura 6.22 se describe una situación en donde la carga alta del enlace ascendente influye en la decisión de handover.

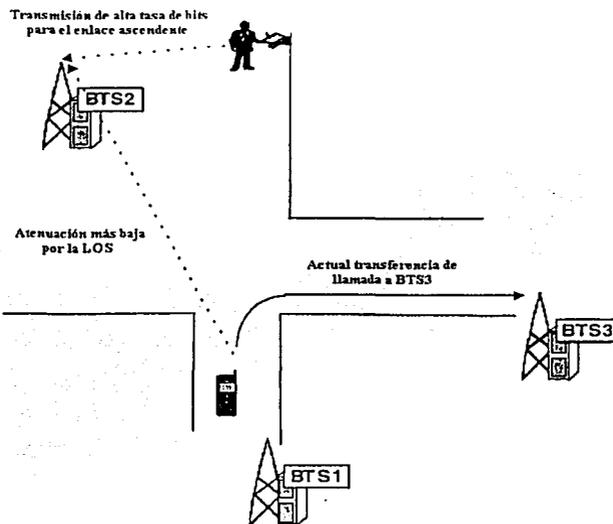


Figura 6.22: Situación de handover con alta carga en el enlace ascendente.

La estación móvil está conectada actualmente a BTS1 pero debe hacer una transferencia de llamada a BTS2 ya que la atenuación por pérdidas de trayectoria es más baja debido a la conexión de LOS. Sin embargo, el usuario multimedia con tasa de bits alta está produciendo un alto nivel de interferencia en el enlace ascendente, y así, la potencia de transmisión requerida por la estación móvil para conectarse a BTS2 es realmente más alta que para BTS3. Por consiguiente, deben hacerse la transferencia de llamada a BTS3.

Hay varias alternativas en como la situación de interferencia en el enlace ascendente y descendente pueden ser tomadas en cuenta en la decisión de handover. La primera posibilidad, y alternativa más directa, es tener la energía del canal piloto constante y señalar el valor de interferencia en el enlace ascendente a la estación móvil. Además, la interferencia del enlace descendente es medida en la estación móvil. Un inconveniente de esta aproximación es la alta carga de señalización en el enlace descendente que reduce la capacidad. La segunda posibilidad es ajustar la energía del canal piloto según la carga del enlace ascendente, tal que la selección de la estación base según la energía del canal piloto también tome en cuenta las condiciones de interferencia. Este método evita indicar el valor de interferencia del enlace ascendente a la estación móvil. En la tercera posibilidad el canal piloto se ajusta según la carga del enlace descendente. En la cuarta posibilidad el canal piloto se ajusta según las cargas de los enlaces ascendente y descendente. Un inconveniente de las estrategias de ajuste del canal piloto es que ellas son más lentas que la constante de energía del canal piloto de señalización "plus", y reduciendo la potencia del canal piloto impacta el desempeño del receptor de la estación móvil.

6.14.3.2 Mediciones de handover

Las mediciones de handover se realizan para reunir información para una decisión de handover. Las mediciones resultantes dependen de la velocidad del móvil. Es decir, estos deben de actualizarse muy frecuentemente cuando la velocidad de las estación móviles aumenta.

Los diferentes canales piloto fijos necesitan ser medidos a diferentes frecuencias. El conjunto activo necesita ser medido más frecuentemente. Así también, el conjunto candidato debe medirse frecuentemente. Sin embargo, el conjunto vecino es medido menos frecuentemente, y el conjunto restante es medido aún menos frecuentemente. Finalmente, sería bueno medir al conjunto vecino más frecuentemente para evitar problemas de rápidas elevaciones en los canales pilotos, lo cual produciría alta interferencia.

6.14.3.3 Combinación de macro diversidad

Tiene que decidirse donde y cómo se realiza la combinación de macro diversidad. Hay varios momentos en los cuales se puede realizar la combinación de macro diversidad:

- En el receptor RAKE;
- En el decodificador de canal;
- Después del decodificador de canal;
- Después del codificador fuente.

La combinación en el receptor RAKE requiere que las transmisiones de las diferentes estaciones base sean sincronizadas. La combinación en este punto proporciona la ganancia más grande, y es muy conveniente para la estación móvil, ya que el receptor RAKE ve la transmisión de las otras estaciones base como señales de multitrayectoria adicionales. En el lado de la red, la combinación al nivel del receptor RAKE o del decodificador de canal es impráctico. Pues necesitaría una cantidad grande de señalización, ya que los bits suaves deberían ser transmitidos al punto de terminación del handover suave situado en la BSC o en el conmutador. Así, la combinación después del decodificador de canal parece ser la alternativa más práctica.

Las principales técnicas de combinación son de relación máxima, ganancia igual, y selección de diversidad. En la combinación de relación máxima, las señales recibidas son ponderadas según su SIR recibida, mientras en la combinación de ganancia igual, la ponderación no es realizada. Con selección de diversidad, la señal con la SNR más alta es seleccionada.

La figura 6.23 ilustra las diferentes posibilidades del combinador de diversidad del handover suave. Existen dos posibilidades básicas: Controlador de Estación Base (BSC) o conmutador. El handover suave entre estaciones base pertenecientes a BSCs diferentes requiere arreglos especiales, (ejemplo, enlaces inter-BSC, ver figura 6.23). Finalmente, las estaciones base pueden incluso pertenecer a conmutadores diferentes.

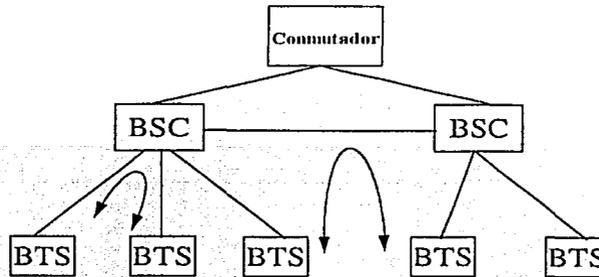


Figura 6.23: Colocación del combinador de diversidad en la red.

6.14.3.4 Consideraciones de desempeño

Los retardos y errores en las mediciones de macro diversidad, y de ejecución conducen a la degradación del desempeño. Algunos parámetros tienen más importancia en el desempeño global.

El retardo en la medición es causado por el procedimiento de examinado de los canales piloto. La velocidad de medición depende del número de señales piloto y el número de buscadores en el receptor de la estación móvil. Ya que el número de canales piloto a ser examinados es grande, un algoritmo sofisticado debe usarse para decidir qué estaciones base examinar, qué a menudo ellas deben examinarse, y cómo mediciones promedio podrían mejorar el desempeño del sistema.

Después de que se ha ejecutado la decisión de conectar una nueva estación base, algo de tiempo transcurre antes de la organización de la nueva conexión. Este retardo consiste de la señalización a la nueva estación base, adquisición de la señal del enlace de subida de la estación móvil por la nueva estación base, e inicio de la transmisión en un nuevo canal. Además, la nueva estación base tiene que señalar el canal de tráfico usado a la estación base vieja, que a su vez lo señala a la estación móvil. Después de esto, la estación móvil recibe el mensaje y empieza a combinar los dos canales de tráfico. Este proceso puede tomar de 200 a 300 ms.

Si el retardo global excede los 300 ms empieza a degradar la capacidad del sistema. Además, el enlace descendente fue fijado para ser más sensible al retardo debido al algoritmo de potencia lento. Para sistemas de tercera generación usando control de potencia rápido en el enlace descendente, el impacto de los retardos en las mediciones de handover y la ejecución podría ser diferentes.

Finalmente, el tamaño del conjunto activo depende de las condiciones de radio propagación y del número de dedos del receptor RAKE disponibles. El número de dedos del receptor RAKE decide si la diversidad de trayectoria adicional obtenida a través de la macro diversidad puede ser utilizada. En el enlace de bajada, la adición de una nueva estación base al conjunto activo puede aún degradar el desempeño, ya que la transmisión de señales adicionales crea más interferencia que no pudiera ser utilizada debido a un número limitado de dedos del receptor RAKE. Una tasa de actualización para el conjunto activo más grande que 0.5 Hz, preferentemente 1 Hz, se necesita para no degradar la calidad del sistema.

6.14.3.5 Sincronización durante el handover

Los requerimientos de sincronización y soluciones para el handover suave dependen de la sincronización de la red y del diseño de códigos de esparcimiento. Si la red se sincroniza al nivel chip con una exactitud de unos micro segundos, como en IS-95, el procedimiento de handover no necesita considerar las diferencias de

tiempo entre las estaciones base involucradas en el handover suave, con la excepción del retardo de propagación. Dado que es deseable no tener sincronización externa debido a las razones de costo y complejidad, se prefiere una red asíncrona.

La estación móvil debe de poder medir la diferencia de tiempos entre la actual estación base y la nueva estación base a ser incluida en el conjunto activo. Esta diferencia de tiempos puede exceder, en el peor de los casos, la longitud de la trama. En una red asíncrona, el diseño de la codificación tiene grandes impactos en el esquema de sincronización del handover. Los códigos largos facilitan la medición de esta diferencia de tiempos largos. Con códigos cortos, se requiere un esquema de sincronización especial para que primero mida la diferencia en tramas con la ayuda de, por ejemplo, el canal de sincronización. Después de que la diferencia cronometrada se ha reducido al nivel de la trama, puede reducirse aún más al nivel chip. Después de que la diferencia cronometrada ha sido medida, las nuevas estaciones base alinean la transmisión de su enlace de bajada al usuario en handover suave con la primera estación base.

6.14.4 Handover Más Suave

El handover más suave ocurre cuando las estaciones móviles se mueven de un sector a otro dentro de una misma célula. El enlace de bajada se parece a la situación de handover suave (es decir, la estación móvil recibe las señales de los dos sectores y las combina en el receptor RAKE). En el enlace de subida, en contraste con el handover suave, la combinación puede realizarse también en el receptor RAKE. En el handover más suave, no hay necesidad de las transacciones entre las estaciones base y, por ejemplo, el controlador de la estación base. De esta manera, el handover más suaves entre los sectores se puede estabilizar mucho más rápido que en el handover suave, cuando la señalización de la red fija no se requiere. Por consiguiente, podría ser útil implementar microcélulas "street" como células sectorizadas para reducir el tiempo crítico del handover de esquina.

6.14.5 Handover de Intrefrecuencia

El handover de interfrecuencia es una nueva característica importante en las redes de tercera generación CDMA que tienen (1) estructura jerárquica de célula (es decir, microcélulas sobrepuesta en una macrocélula) y (2) puntos de mayor tráfico (*hotspot*) en las células con más portadoras que las células circundantes, como se muestra en la figura 6.24. En el más reciente escenario, el handover de interfrecuencia pueden realizarse como un handover intra-celular dentro del punto de mayor tráfico de la célula.

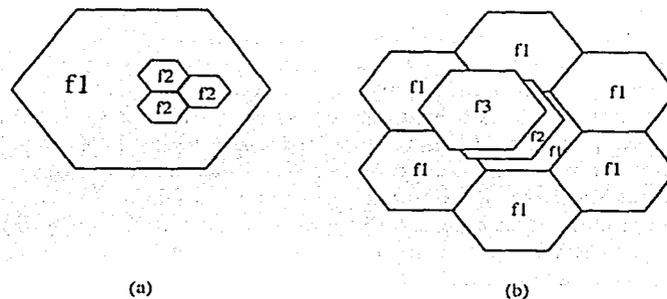


Figura 6.24: Escenarios del handover de interfrecuencia: (a) microcélulas sobrepuestas en una macrocélula, y (b) puntos de mayor tráfico de la célula con varias portadoras.

Para el handover de interfrecuencia, hay dos alternativas de implementación: modo comprimido/ranurado (*slotted*) y receptor dual. El *receptor dual* tiene un receptor caro pero con un simple sistema de operación. Sin embargo, si ya hay un receptor de diversidad (dos receptor encadena, y no selección de diversidad), entonces es posible usar al otro receptor para medir las otras portadoras. Por supuesto, la ganancia de diversidad es pérdida durante el período de medición. El modo comprimido, por otro lado, tiene un receptor simple pero con un sistema de operación más complejo. El algoritmo del receptor tiene que operar con señales "bursty" durante el modo de ranurado, resultando con un más pobre desempeño y más esfuerzo de control.

Para el modo comprimido existen un número de alternativas para su implementación. Algunos de estas alternativas son: factor de esparcimiento variable, aumento de la tasa de codificación, multicódigo, y mayor orden de modulación. La tasa de esparcimiento variable y el aumento de la tasa de codificación causan una pérdida de 1.5 a 2.5 dB en el desempeño de E_b/N_0 , y un mayor orden de modulación causa aún una mayor pérdida (5 dB). Esto debido a las interrupciones en el control de potencia y, a la menor codificación. El más grande inconveniente del factor de esparcimiento variable es que terminales simples deben de poder operar con razones de esparcimiento diferentes.

6.15 CONTROL DE POTENCIA

En el diseño de un esquema de control de potencia, el criterio de control de potencia, tamaño del paso, rango dinámico, y la tasa de comandos necesitan ser considerados. A continuación, se discute cada uno de estos aspectos.

6.15.1 Criterio de Control de Potencia

Dependiendo del criterio de control de potencia, pueden derivarse varios algoritmos diferentes. El criterio más típico es:

- Control de potencia basado en las pérdidas por trayectoria;
- Control de potencia basado en la calidad.

Normalmente, el algoritmo de control de potencia es una combinación de estos dos criterio básicos. La calidad puede medirse a través, por ejemplo, de la SIR. Dado que diferentes SIRs corresponden al mismo FER en ambientes de radio propagación diferentes, necesitamos tener una función que mapee el FER deseado dentro del SIR designado. Esto se realiza midiendo al FER y SIR continuamente, y ajustando el SIR designado para obtener el FER deseado.

6.15.2 Tamaño de Paso del Control de Potencia

El tamaño de paso del control de potencia define cuánto un comando del control de potencia cambia la potencia de transmisión. Un simple ajuste de arriba/abajo o varios niveles de ajuste de potencia pueden usarse. Los tamaños de paso típicos están entre 0.5 y 1 dB. Debe de notarse que el ajuste del control de potencia es relativo a la posición previa de la potencia, ya que el poner una potencia absoluta podría requerir una extremada exactitud, lo cual implica tener un circuito de control de potencia muy caro.

6.15.3 Requerimientos del Rango Dinámico

En el enlace ascendente, el control de potencia de lazo abierto intenta igualar las potencias de todas las estaciones móviles recibidas por la estación base para evitar el efecto cercanía/lejanía. La condición del rango dinámico se fija por la diferencia de distancia máxima entre dos estaciones móviles, y puede expresarse como

$$\frac{P_{rx1}}{P_{rx2}} = \left(\frac{d_2}{d_1} \right)^\alpha \quad (6-22)$$

donde:

- P_{rx1} = señal de potencia recibida por la estación móvil 1;
- P_{rx2} = señal de potencia recibida por la estación móvil 2;
- d_1 = distancia entre la estación móvil 1 y la estación base;
- d_2 = distancia entre la estación móvil 2 y la estación base;
- α = factor de atenuación de las pérdidas por trayectoria.

El rápido control de potencia compensa las fluctuaciones de desvanecimiento lento y rápido. Para compensar éstas, el rápido control de potencia necesita un rango dinámico del orden de 10 a 30 dB alrededor del "setpoint set" para el control de lazo abierto.

En el enlace descendente, el rango dinámico no puede ser tan alto, dado que las transmisiones de estaciones móviles diferentes vienen de una sola fuente. Aun cuando los canales de codificación, en teoría, son ortogonales, ellos no siguen siendo totalmente ortogonales en la práctica después del canal de multitraectoria y las no idealidades del transmisor y receptor. De esta manera, si se usará un rango dinámico grande, el control de potencia crearía una situación de efecto cercanía/lejanía (*near/far*) por las transmisiones originadas del transmisor. Por lo tanto, en el enlace descendente el rango dinámico es del orden de 10 a 20 dB.

6.15.3 Tasa de Comandos del Control de Potencia

La segunda tarea para el control de potencia es el compensar las fluctuaciones de la señal causadas por el desvanecimiento rápido, y mejorar el desempeño. Es muy difícil de rastrear el desvanecimiento rápido en unidades móviles a velocidades altas debido a la medición del retardo, la señalización de los comandos de control de potencia y el retardo del proceso causado por extraer el comando de control de potencia del receptor. Por consiguiente, las unidades móviles a velocidades bajas fijan los requerimientos para el rápido control de potencia.

La tasa óptima de control de potencia depende de la velocidad de la unidad móvil y la frecuencia de la portadora. De este modo, sería beneficioso tener una tasa variable de control de potencia según la velocidad de la unidad móvil.

Debido a las condiciones de retardo, los comandos de control de potencia son transmitidos decodificados. Por consiguiente, la probabilidad de error de los comandos de control de potencia es muy alta. Sin embargo, ya que los comandos de control de potencia se transmiten muy frecuentemente y el tamaño del paso es pequeño, el lazo de control de potencia converge al valor correcto a pesar de la alta probabilidad de errores. Finalmente, la ganancia neta de capacidad del control de potencia depende de la tasa de comandos de control de potencia que consume recursos de radio, del incremento de interferencia por otras células, y del aumento en el desempeño debido a la compensación del desvanecimiento rápido y la reducción del efecto cercanía/lejanía.

6.16 CONTROL DE ADMISIÓN Y DE CARGA

El propósito del control de admisión es asegurar que haya recursos de radio libres para la intención de llamada con la SIR y tasa de bits demandados. El propósito del control de carga es mantener de una manera objetiva el uso de recursos de radio de la red dentro de los límites dados. El control de admisión siempre se lleva a cabo cuando una estación móvil inicia comunicaciones con una nueva célula, o, a través de una nueva llamada o handover. Así también, se ejecuta cuando un nuevo servicio se agrega durante una llamada activa.

En general, el procedimiento de control de admisión asegura que la interferencia creada después de agregar una nueva llamada no excede un umbral previamente establecido. La negociación de un contrato de servicio se realiza al principio de la llamada. El control de admisión puede ser involucrado ya que el usuario podría aceptar, por ejemplo, una tasa más baja de bits si puede ser acomodado en la red.

Las cantidades usadas en el control de admisión y de carga (por ejemplo, SIR, potencia total) debe promediarse para obtener valores estables que son insensibles a errores de control de potencia. Por otro lado, el tiempo promediado no puede ser demasiado largo ya que entonces la información antigua podría ser usada en los procesos de control de admisión y de carga.

6.16.1 Factor de Carga

El factor de carga η es usado para medir el congestionamiento de la red. El factor de carga para el enlace de subida puede ser definido como sigue:

$$1 - \eta = \frac{SIR_{cargado}}{SIR_{descargado}} = \frac{\frac{S}{I_{tot}}}{\frac{S}{I_0}} = \frac{N}{I_{tot}} \Leftrightarrow \eta = 1 - \frac{N_0}{I_{tot}} \quad (6-23)$$

donde:

- N_0 es la densidad espectral de ruido térmico;
- I_{tot} es la interferencia total de la densidad espectral de ruido "plus";
- S es la potencia recibida en la estación base por cada usuario;
- SIR es la relación señal a interferencia.

Cuando el sistema está completamente cargado entonces el factor de carga es uno. Dado que un sistema completamente cargado podría entrar en un estado inestable y manejar las potencias de todos los usuarios a un máximo, se requiere de un margen de seguridad. Por consiguiente, el factor de carga debe estar en el orden de 0.4 a 0.8. En el enlace de bajada, el factor de carga puede ser definido como la relación de la máxima potencia de transmisión BTS al valor del umbral predefinido.

6.16.2 Principios de Control de Admisión

El control de admisión necesita ser hecho separadamente para el enlace ascendente y descendente. Esto es especialmente importante si el tráfico es muy asimétrico. Los criterios típicos para el control de admisión son el bloqueo de llamada y la caída de llamada. El bloqueo ocurre cuando a un nuevo usuario se le niega el acceso al sistema. Mientras, que una caída de llamada ocurre cuando se termina la llamada de un usuario existente.

6.16.3 Principios del Control de Carga

El principio básico del control de carga es el mismo que para el control de admisión. Mientras el control de admisión es transportado fuera como un solo evento, el control de carga es un proceso continuo donde la interferencia es monitoreada.

El control de carga mide el factor de carga, si éste se excede del valor predefinido, la red reduce las tasas de bits de aquellos usuarios cuyos contratos de servicio permitan hacerlo, retarda la transmisión de aquellos usuarios sin requerimientos de retardo, o hace que se caigan las llamadas de baja prioridad. Si hay una baja de carga (*underload*), el control de carga aumenta las tasas de bits de aquellos usuarios que pueden manejar tasas de bits más altas. El aumento y disminución de las tasas de bits se puede realizar con un orden de prioridad. Este tipo de control sofisticado requiere estabilidad en todas las condiciones. Así, algunas constantes de tiempo se requieren para que la red no reaccione demasiado rápido y para prevenir que varios usuarios aumenten sus tasas de bits simultáneamente, resultando una carga demasiado alta.

CAPITULO 7

Descripción del Sistema CDMA2000

7.1 INTRODUCCIÓN

¿Qué es cdma2000?

Cdma2000 es una interfase de radio de banda ancha, con espectro esparcido que perfecciona el actual estándar móvil digital de segunda generación cdmaOne (*IS-95 CDMA*). Permite al usuario obtener mayores velocidades de transmisión de datos y un uso más eficaz del espectro de radio que las técnicas de radio existentes en la actualidad.

Cdma2000 es una tecnología compatible con IMT-2000 que podrá utilizarse en todo el continente americano, China, Rusia y la región de Asia Pacífico, áreas que poseen en este momento redes cdmaOne.

Todos los estándares de 3G tienen un importante mercado potencial, ya que se complementan entre sí y están dirigidos hacia mercados diferentes.

Las redes cdma2000 son compatibles con cdmaOne, con lo que las inversiones del operador quedan protegidas y puede encontrar una vía de migración sencilla, rentable y eficaz hacia la 3G. Gracias a sus interfaces abiertas, los operadores pueden elegir los elementos de red que satisfagan mejor sus necesidades. El operador decide cuándo desea actualizar sus equipos dependiendo de la demanda del mercado. Para ofrecer la máxima flexibilidad y rentabilidad, el plan de ampliación de la red cdma2000 permite llevar a cabo una migración dependiente de la demanda, con la posibilidad de actualizar segmentos específicos de la red.

Evolución de IS-95 a CDMA2000

El estándar cdma2000 se divide en dos fases, conocidas generalmente como 1X y 3X. El IMT-2000 sólo en la banda de 1.25 MHz del espectro, con una norma avanzada aún en fase de desarrollo conocida como 1XEV, mejorará las posibilidades que ofrecerá el cdma2000 más allá del 1X. Los operadores CDMA de todo el mundo acaban de establecer los requisitos de este estándar a través del Grupo de desarrollo de CDMA (*CDG*).

Cdma2000 1X, se implanta en las actuales asignaciones del espectro y proporciona aproximadamente el doble de capacidades vocal que cdmaOne y velocidades de datos de hasta 144 Kbits/seg. Cdma2000 1X también ofrece compatibilidad con las actuales redes cdmaOne además de otras mejoras relacionadas con el funcionamiento. La Asociación de Industrias de Telecomunicaciones (*TIA*) ha publicado el estándar cdma2000 1X (*IS-2000*). El nombre de 1X procede del término técnico 1XRTT, que hace referencia a la implantación del cdma2000 dentro de la banda actual de 1.25 MHz del espectro. 1X significa una vez 1.25 MHz y RTT, Tecnología de Radiotransmisión. 1X se puede implantar en las asignaciones nuevas o actuales del espectro.

Cdma2000 1XEV, esta basado en el estándar 1X, este sistema mejora la velocidad de procesamiento de datos, obteniendo velocidades máximas de 2 Mbits/seg., sin tener que utilizar más de 1.25 MHz del espectro. Los requisitos para los operadores recién establecidos con respecto a 1XEV establecen dos fases. En la primera es necesario obtener una velocidad de procesamiento de datos de hasta 2 Mbits/seg para lograr una transmisión de datos eficaz y con máximo aprovechamiento. La segunda fase se centra en las funciones de

datos y de voz en tiempo real, así como la mejora del funcionamiento para mayor eficiencia en voz y en datos.

Cdma2000 3X, elemento integrante del estándar original *cdma2000*, permite aumentar la capacidad por encima de 1X y obtener velocidades de transmisión de datos de hasta 2 Mbits/seg con un sistema de portador múltiple. La denominación 3X procede del término técnico 3XRTT, que hace referencia al uso de tres portadoras de 1.25 MHz en un sistema de portador múltiple para prestar servicios de banda ancha de 3G.

7.1.1 Tecnología de Radiotransmisión Cdma2000

Cdma2000 es una interfaz de radio de banda ancha, con espectro esparcido que utiliza la tecnología de Acceso Múltiple por División de Código (*CDMA*) para cubrir las necesidades de los sistemas 3G especificados por la Unión Internacional de Telecomunicaciones (*UIT*). Esta tecnología cubre las necesidades de los ambientes de operación (interior de oficina, de interiores a exteriores / peatonal, y vehicular). Cdma2000 ofrece las siguientes ventajas considerables:

- Amplía gama de ambientes de operación (interiores, baja movilidad, completa movilidad, y sistemas inalámbricos fijos);
- Amplio rango de desempeño (desde voz y baja velocidad de transmisión de datos hasta muy altas velocidades de transmisión de servicios de paquetes y circuitos de datos).
- Amplía gama de servicios avanzados (únicamente voz, voz y datos simultáneos, datos solamente, y servicios de localización).
- Una avanzada capacidad de control de calidad de servicio (*QoS*) en multimedia soportando múltiples transmisiones de voz simultáneamente, alta velocidad de transmisión de paquetes de datos, y alta velocidad en servicios de circuitos de datos.
- Estructura modular para soportar los protocolos existentes y los nuevos de tercera generación de Señalización de Capas Superiores.
- Interoperabilidad y transferencia de llamada (*handoff*) con los sistemas existentes TIA/EIA-95-B (*IS-95B*).
- Evolución uniforme de los sistemas existentes basados en IS-95B.
- Excelente optimización y asignación del espectro.
- Soporte de los servicios existentes de IS-95B, incluyendo codificadores de voz, servicios de paquetes y circuitos de datos, servicios de fax y servicios de mensajes cortos (*SMS*).

7.1.2 Características Importantes de Diseño

Las características importantes de diseño de *cdma2000* son:

- ✓ La interfaz de aire CDMA de banda ancha (*WCDMA*) ofrece adelantos significativos para aumentar el desempeño y capacidad:
 - canal piloto coherente basado en la interfaz de radio inversa (*reverse*);
 - forma de onda continua de la interfaz de radio inversa;
 - rápido control de potencia para las interfases de radio directa (*forward*) e inversa; y
 - canal piloto auxiliar para soportar aplicaciones de forma de haz y para aumentar la capacidad.
- ✓ Tasas de datos de 1.2 Kbps hasta sobrepasar 2 Mbps;
- ✓ Soporte para un amplia gama de anchos de banda del canal RF:

- 1.25 MHz;
 - 3.75 MHz;
 - 7.5 MHz;
 - 11.25 MHz; y
 - 15 MHz.
- ✓ Avanzado Control de Acceso Medio (*MAC*) para muy eficientes servicios de paquetes de datos de alta velocidad;
- ✓ Capa Física perfeccionada para la operación de la capa *MAC*:
- Canal de Control Dedicado (*DCCH*);
 - variable tamaño de trama para la operación del canal de control de paquetes de datos (5 y 20 ms); y
 - canales reforzados de búsqueda (voceo) y acceso para rápido control de acceso de los Servicios de Paquetes de Datos (*Canal de Control Común - CCCH*).
- ✓ Capacidad de sobreponer los canales de 1.25 MHz de IS-95B;
- ✓ Turbo códigos para tasas de transmisión más altas y para aumentar la capacidad;
- ✓ Estructura de señalización flexible diseñada para soportar una amplia gama de alternativas de señalización de la interfaz de radio:
- compatible hacia atrás de la Capa 3 de señalización de IS-95B;
 - señalización de Capa Superior de cdma2000; y
 - entidades de Señalización de Capa Superiores futuras.
- ✓ Avanzadas capacidades de control QoS Multimedia:
- soporte para múltiple Control de Acceso de Enlace (*LAC*) y entidades *MAC* con requerimientos variables de QoS;
 - multiplexación sofisticada y subcapas de QoS que controlan la planificación y ordenación entre los servicios que compiten para implementar las obligaciones de QoS negociadas; y
 - soporte de múltiples Canales Suplementarios con atributos variantes de QoS para que múltiples servicios con diferentes requerimientos de QoS puedan ser operados correctamente.
- ✓ Modos de operación optimizados de voz flexible, voz /datos, y sólo datos según la aplicación y el ambiente:
- soporte de funciones de control de paquetes de datos distribuidos y centralizados;
 - soporte a la operación de canales portando datos en configuración de handoff suave o en handoff suave reducido; y
 - habilidad opcional para separar paquetes de control e información de señalización del canal físico que transporta voz.
- ✓ Diversidad de transmisión soportada por la interfaz de radio directa:
- para configuraciones de portador múltiple (*MC*) - asignación de cada portador a antenas de transmisión independiente; y
 - para configuraciones de secuencia directa (*DS*) - Diversidad de Transmisión Ortogonal (*OTD*).

- ✓ Soporte para configuraciones de Duplexación de División de Frecuencia (*FDD*), así como para la Duplexación por División de Tiempo (*TDD*); y
- ✓ Soporte a la transferencia de llamada entre los sistemas cdma2000 y sistemas reforzados IS-95B.

7.2 CARACTERÍSTICAS DE LA RTT CDMA2000

7.2.1 Flexibilidad y Escalabilidad

7.2.1.1 Rango de desempeño

El sistema cdma2000 provee una amplia gama de opciones de implementación que soportan diferentes tasas de datos (servicios de circuitos y paquetes de datos) de 9.6 Kbps hasta sobrepasar 2 Mbps. La flexibilidad máxima se obtiene al permitir a los portadores hacer "ajustes" (*tradeoffs*) de diseño en:

- tamaños de canal de 1, 3, 6, 9 y 12 x 1.25 MHz;
- soporte de tecnologías avanzadas para antenas;
- tamaño de células;
- mayores tasas de datos que pueden ser soportadas en todos los tamaños de las células; y
- soporte de servicios avanzados que no son viables en otros sistemas.

7.2.1.2 Ambientes de operación

El sistema cdma2000 puede ser operado en una amplia gama de ambientes:

- Megacélulas exteriores (radio mayor a 35 km);
- Macro células exteriores (radio de 1-35 km);
- Micro células interiores/exteriores (radio mayor a 1 km);
- Píccocélulas interiores/exteriores (radio menor a 50 m);
- Modelos de despliegamiento:
 - Ambiente de interior/oficina;
 - Lazo Local Inalámbrico (*WLL*);
 - Ambiente vehicular; y
 - Ambientes mezclados vehicular y interior/exterior.
- Requerimientos de movilidad variables.

7.2.1.3 Señalización

Cdma2000 proporciona una estructura por capas que soporta la integración de las dos últimas capas de la RTT en sistemas que implementan virtualmente cualquier estándar de red. Por supuesto, cdma2000 también soporta compatibilidad con señalización IS-95B y modelos de control de llamada, y una extensa estructura de Señalización de Capa Superior cdma2000 que es capaz de soportar una amplia gama de servicios avanzados (ej., servicios multimedia).

7.2.1.4 Servicios

Cdma2000 proporciona una estructura por capas flexible para ofrecer un comprensible y sofisticado modelo de interfaz de servicio, y múltiples modos de operación de servicio. Estas capacidades soportan los servicios avanzados que se definen dentro de TR-45.5 de la TIA.

7.2.2 Evolución

Cdma2000 ofrece una evolución fácil y suave a partir de los sistemas actuales de segunda generación IS-95B con las siguientes características:

- sistema de estructura estratificada que permite el anexo de nuevas capas (cdma2000 opera con canales comunes a los canales de 1.25 MHz de IS-95B);
- señalización y red compatible con el sistema IS-95B (los primeros desarrollos de cdma2000 no necesitan introducir nuevos modelos de llamadas o características avanzadas; los servicios avanzados basados en la Señalización de Capas Superiores se pueden implementar e introducir gradualmente);
- evolución suave y factible de los sistemas de segunda generación a cdma2000; y
- compartir canales comunes con el sistema IS-95B durante periodos de transición (canales de voice, acceso, piloto y sincronía pueden compartirse entre los sistemas “overlay” y “underlay”).

7.2.2.1 Evolución de la reutilización de estándares existentes

7.2.2.1.1 Reutilización de la familia IS-95B

Debido a que cdma2000 es compatible con IS-95, un considerable número de estándares son una importante influencia en el desarrollo del estándar cdma2000. Algunos de los aspectos reutilizados de la familia de estándares IS-95B son:

- IS-95B (estación móvil y especificaciones de interfaz de radio);
- IS-707 Servicios de datos (paquetes, asíncrono, y fax);
- IS-127 Codificación de Tasa Variable Mejorada (*EVRC*) con velocidad de codificación de 8.5 Kbps;
- IS-733 con velocidad de codificación de 13 Kbps;
- IS-637 Servicios de Mensajes Cortos (*SMS*);
- IS-683 Configuración y activación del servicio de las estaciones móviles en la interfaz de radio;
- Estructura de canal básica de IS-95B;
- extensiones de la estructura de canal fundamental/suplementario IS-95B, capa múltiple, y señalización para soportar la operación a las tasas más altas; y
- canales de transmisión comunes (piloto, voice y sincronización).

Debido a este nivel de reutilización, el estándar cdma2000 podrá completarse pronto, y los productos basados en estos estándares podrán desarrollarse y desplegarse rápido.

7.2.2.1.2 Soporte del estándar IS-41D

No existen cambios significativos en la familia de estándares IS-41D requeridos por el sistema cdma2000, ya que la estructura en capas del sistema cdma2000 ofrece una integración fácil con servicios de red avanzados (servicios de Redes Inteligentes Inalámbricas (*WIN*)).

7.2.2.2 Evolución a estándares futuros

La estructura de capas y modular del sistema cdma2000 asegura la integración con futuros estándares definidos dentro de la TIA, la UIT, u otros cuerpos de normalización con mínimas interrupciones. Si se requieren extensiones, éstas se pueden realizar a componentes individuales sin interrupciones en los estándares de cdma2000.

7.2.3 Requerimientos de Funcionalidad

7.2.3.1 Compatibilidad con IS-95B

7.2.3.1.1 Servicios

Handoff de IS-95B a cdma2000 y de cdma2000 a IS-95B:

El sistema cdma2000 cuenta con la capacidad de realizar una transferencia de llamada (*handoff*) de voz y datos, y otros servicios de un sistema IS-95B a un sistema cdma2000, o viceversa, con una mínima interrupción en el servicio, esto se puede realizar;

- en la frontera del handoff y dentro de una banda de frecuencia;
- en la frontera del handoff y entre bandas de frecuencia (asumiendo que la MS tiene capacidad multibanda);
- dentro de la misma huella de la célula y dentro de una banda de frecuencia; y
- dentro de la misma huella de la célula y entre bandas de frecuencia.

Los handoffs de servicio de voz de IS-95B a cdma2000 (o viceversa) no requieren un cambio de opción de servicio, pueden ejecutarse sin interrupción de servicio o con una interrupción de servicio mínima. Los handoffs de servicios de datos de IS-95B a cdma2000 ocurren con un mínimo de interrupciones de servicio; mientras que, de cdma2000 a IS-95B no requieren de reconexiones de los protocolos de capa sobre RLP resultando en una menor interrupción de servicio en el peor de los casos. Los procedimientos de handoff de IS-95B a cdma2000 (o viceversa) son una extensión confiable de los procedimientos de handoff duro de IS-95B.

Flexibilidad de despliegamiento:

El estándar cdma2000 soporta sin límites la actualización y flexibilidad de la interrelación de los sistemas IS-95B existentes. Un sistema IS-95B puede actualizarse incrementando a cdma2000 en una parte de las portadoras utilizadas en el área de servicio, o a través de todas las portadoras que se utilizan en un área de servicio específica.

Sistema de portadora múltiple:

El sistema de portadora múltiple $N \times 1.25$ MHz ($N = 1, 3, 6, 9$ y 12) puede desplegarse como una sobreposición de las portadoras de 1.25 MHz de IS-95B. En esta configuración, el sistema resultante puede proporcionar servicios de IS-95B y cdma2000 a las estaciones móviles de IS-95B y cdma2000 concurrentemente. En una configuración de sobreposición, los sistemas IS-95B y cdma2000 comparten los canales piloto comunes, y pueden compartir opcionalmente los canales de voice comunes. El sistema cdma2000 puede también desplegarse en otro conjunto de canales dentro de la misma o diferente banda de frecuencia.

Sistema de secuencia directa:

Un sistema de secuencia directa (*DS*) $N \times 1.25$ MHz puede desplegarse en cualquier banda de frecuencia con suficiente ancho de banda disponible.

7.2.3.1.2 Reutilización de infraestructura

Un sistema cdma2000 soporta la reutilización de infraestructura de equipo IS-95B existente cuando se actualiza un sistema integrado IS-95B (BS, MSC, y Red). Al existir infraestructura mecánica (edificios, torres, etc.) de sitios de célula se puede reutilizarse en sistemas cdma2000 actualizados. Los planes de RF existentes pueden modificarse para acomodar los planes de RF de cdma2000 en la misma huella de célula.

7.2.3.1.3 Soporte de IS-95B en el mismo canal y banda

El sistema cdma2000 tienen la capacidad de coexistir con los sistemas IS-95B en el mismo canal de frecuencia mediante una configuración de recubrimiento; mientras que, coexiste con los sistemas IS-95B en la misma banda de frecuencia (ej., celulares o PCS).

7.2.3.1.4 Reutilización de estándares IS-95B

El sistema cdma2000 tiene la capacidad de reutilizar la familia de estándares de IS-95B existentes. Toda la señalización de IS-95B es un subconjunto del sistema cdma2000. Se hacen extensiones para soportar nuevas capacidades (ej., tasas de datos más altas) de una manera que sean comunes o consistentes con la señalización e interfaz de radio de IS-95B dondequiera que sea posible. Algunos ejemplos específicos incluyen lo siguiente:

- estructura de canal basada en la estructura de canal básico de IS-95B con extensiones ortogonales para operación de mayores tasas;
- servicios con mayores tasas de datos implementados con extensiones para la estructura de canal fundamental/suplementario IS-95B, capa de multiplexaje, y señalización (con mejoras en la capa MAC para soportar el compartido de los canales de control de paquetes de datos y de transporte, negociación de QoS); y
- canales piloto comunes (y compartidos) con el canal piloto IS-95B.

7.2.3.1.5 Soporte para la banda de frecuencia de 5 MHz

El sistema cdma2000 tiene la capacidad de operar dentro de una banda PCS de 5 MHz e incluye la capacidad de coexistir con canales de IS-95B en la misma banda. Además, cdma2000 soporta 3×1.25 MHz de canal de operación dentro de un canal de 5 MHz. La banda de guarda y las características de interferencia permiten la operación en un bloque PCS de 5 MHz. Para sistemas de múltiple portadora, el sistema cdma2000 puede configurarse como una sobreposición de uno o más canales de 1.25 MHz de IS-95B.

7.2.3.2 Coexistencia con IS-95B

7.2.3.2.1 Canales adyacentes

Cdma2000 puede desplegarse en canales inmediatamente adyacentes de los sistemas IS-95B y cdma2000.

7.2.3.2.2 Soporte de sobreposición

A un sistema cdma2000 de $N \times 1.25$ MHz ($N = 3, 6, 9, \text{ o } 12$) se le pueden sobreponer de 1 a N canales existentes en IS-95B.

7.2.3.2.3 Complejidad de la transición de IS-95B

Cdma2000 puede desplegarse en parte o sobre toda la huella de servicio de una portadora. Para sistemas de portadora múltiple las configuraciones de sobreposición permiten el despliegue, sin demandar una banda de espectro despejada. Para sistemas de secuencia directa, el sistema cdma2000 debe desplegarse en una banda de frecuencia despejada para un desempeño óptimo.

Reutilización de sitios de célula:

El sistema cdma2000 tiene la capacidad de reutilizar los sitios de célula existentes en IS-95B. Al existir planes de RF, frecuencia y canales de IS-95B estos pueden adaptarse fácilmente a sistemas cdma2000. Al desplegar un sistema cdma2000 usando las huellas de célula existentes, los sitios de célula pueden configurarse para lograr una combinación específica de portadora para las siguientes mejoras:

- aumento de rango;
- aumento de las tasas de datos; y
- aumento de la capacidad.

Sistemas de portadora múltiple y de secuencia directa:

Para un sistema de portadora múltiple los canales $N \times 1.25$ MHz de cdma2000 pueden ser sobrepuestos por N canales adyacentes de 1.25 MHz existentes en IS-95B. Mientras, para sistemas de portadora múltiple y de secuencia directa si existen planes de distribución estos pueden adaptarse para acomodar las portadoras cdma2000 en un espectro despejado dentro de la misma banda de frecuencia o en otras bandas de frecuencia.

Reutilización de mismos tamaños de célula:

Cdma2000 permite la reutilización de esquemas y huellas de célula existentes en IS-95B. Al existir esquemas y huellas de célula pueden ser reutilizadas sin restricciones. El rango y cobertura exceden los sistemas existentes en IS-95B mientras también ofrecen un aumento en la capacidad.

Reutilización de BS (BSC, BTS):

El sistema cdma2000 soporta la reutilización de hardware de BS. El estándar cdma2000 no evita a los fabricantes de BS implementar sistemas que proporcionen una reutilización parcial o completo de muchos componentes de BS, incluyendo:

- hardware de BS basado en: tramas, suministro de potencia, localidades de memoria, etc. (parcial);
- componentes de RF de BS: antenas, convertidores de subida y bajada, el dúplexores, etc. (parcial);
- componentes de software de BS y MSC que implementan opciones de servicio común (ej., vocoders, pilas de protocolos, y software de procesamiento de señalización);
- IS-634 elementos de BS; y
- Amplificadores de Potencia.

Sistemas operacionales y de facturación:

Cdma2000 tiene la capacidad de reutilizar los sistemas operacionales y de facturación existentes en IS-95B, es decir, los estándares cdma2000 se han diseñado para tener la máxima compatibilidad con estos sistemas. Algunas extensiones al sistema de facturación pueden ser necesarias para soportar los recientes servicios de cdma2000.

7.2.3.3 Requerimientos de desempeño de IMT-2000

El sistema cdma2000 reúne las condiciones de desempeño de paquetes y circuitos de datos de IMT-2000. Es decir, una configuración de ancho de banda de 3×1.25 MHz pueden exceder y reunir todas las condiciones de desempeño de paquetes y circuitos de datos de IMT-2000 para ambientes vehiculares y peatonales. Mientras que una configuración de ancho de banda de 9×1.25 MHz reúne todas las condiciones de desempeño de paquetes y circuitos de datos de IMT-2000 para el ambiente de interior de oficina. Las condiciones de desempeño mínimas para paquetes y circuitos de datos son las siguientes:

- ✓ soporte de tasas de datos simétricos y asimétricos en todo los ambientes;

- ✓ tasas de datos mínimas:
 - ambiente vehicular - 144 Kbps;
 - ambiente peatonal - 384 Kbps; y
 - ambiente de interior de oficina - 2 Mbps.

7.2.3.4 *Requerimientos característicos de señalización*

7.2.3.4.1 *Aspectos en común con IS-95B*

Cdma2000 soporta protocolos de señalización, mensajes, y procedimientos de la familia de estándares IS-95B. Toda la señalización de IS-95B es un subconjunto del sistema cdma2000 por consiguiente se soporta totalmente. Algunas extensiones se hacen para soportar nuevas capacidades (mayores tasas de datos), de manera similar o consistente con la señalización e interfaz de radio de IS-95B.

7.2.3.4.2 *Mejoras a los servicios avanzados*

El sistema cdma2000 proporciona mejoras significativas a los protocolos de señalización, mensajes, y procedimientos con respecto a estándares e implementaciones IS-95B. En particular, cdma2000 incorpora mejoras a la capa MAC para acomodar servicios de paquetes de datos, incluyendo:

- canal de control de paquetes de datos;
- canal de transporte compartido por paquetes de datos;
- negociación de QoS; y
- mejores mecanismos de asignación de canal de tráfico.

7.2.3.4.3 *Impactos en IS-41*

El sistema cdma2000 requiere sólo menores extensiones para soportar la operación de mayores tasas de datos y de nuevos servicios soportados por los sistemas cdma2000:

7.2.3.4.4 *Handoff de Interfrecuencia*

El sistema cdma2000 usa una aproximación de handoff duro que es similar a los procedimientos empleados en IS-95B. Los procedimientos MAHO (*Mobile Assisted HandOff*) han sido extendidos de un modo ascendentemente compatibles para manejar las operaciones de examinado de frecuencias para ambos sistemas IS-95B y cdma2000. Las mejoras permiten a la estación móvil ejecutar un MAHO para examinar la frecuencia con un mínimo o ninguna ruptura de voz, u otras operaciones de circuitos de datos.

7.2.3.5 *Servicios*

A continuación se describen los requerimientos funcionales para servicios que deben ser soportados por el sistema cdma2000.

7.2.3.5.1 *Simultaneidad de Voz y Datos*

El sistema cdma2000 soporta operaciones de voz y datos simultáneos sin impactar la calidad de la voz o sacrificando el desempeño de datos de alta velocidad. La voz puede mezclarse con paquetes de datos de alta

velocidad, circuitos de datos de alta velocidad, o una combinación de múltiples servicios de paquetes y/o circuitos de datos. Cdma2000 usa una estructura de canal de Capa Física que comparte mucho de la estructura de Canal Fundamental/Suplementario de IS-95B. Este diseño mantiene una estructura de voz y datos simultáneos, y procedimientos que son ascendientemente compatibles con IS-95B.

7.2.3.5.2 Soporte de Servicios Multimedia

Cdma2000 extienden su soporte a múltiples servicios simultáneos, más allá de los servicios de IS-95B, para proporcionar mucho mayores tasas de datos y una sofisticada capacidad de Control de QoS Multimedia para soportar múltiples conexiones de voz / paquetes de datos / circuitos de datos con diferentes condiciones de QoS. La capa de Control de Acceso Medio (MAC) de cdma2000 proporciona extensas mejoras para conexiones de negociación multimedia, operación de múltiples servicios concurrentes, y administración de los intercambios (*tradeoffs*) de QoS entre múltiples servicios activos de una manera eficiente, estructurada y amplia. La Capa Física de cdma2000 soporta un Canal de Control Dedicado (DCCH) que puede ser utilizado en un número de configuraciones flexibles para mantener el más alto nivel de independencia entre los servicios compitiendo (ej., voz y datos) mientras se mantiene el más alto nivel de desempeño.

7.2.3.5.3 Control de QoS Multimedia y Negociación

Los procedimientos de negociación de servicios de datos de alta velocidad se extienden más allá de los de IS-95B para incluir parámetros de QoS ATM/B-ISDN, incluyendo:

- requerimientos de tasa de datos (CBR, ABR, VBR, etc.);
- requerimientos de tasa de datos simétricos/asimétricos; y
- características tolerables de retardo/"latency".

Los procedimientos de negociación de QoS proporcionan un *servicio que es funcionalmente equivalente* a procedimientos B-ISDN Q.2931. Estos facilitan la implementación de servicios de Llamada Multimedia vía una entrada a redes ATM/B-ISDN. Adicionalmente, los servicios de paquetes de datos cdma2000 (es decir, IP) soportan una negociación de QoS mediante los protocolos de capas superiores, tal como los Protocolos de Reservación de Recurso (RSVP).

7.2.3.5.4 WLL

El sistema cdma2000 proporciona grandes capacidades para soportar muy eficiente y eficazmente el costo de las implementaciones de Lazo Local Inalámbrico (WLL). El retraso y capacidad de la célula/sector pueden ser cambiados fuera de perfeccionarse en el ambiente deseado. Optimizados modos de servicio de paquetes de datos proporcionan un excelente servicio de Internet que es muy competitivo con ambientes "wireline" e inalámbricos.

La capacidad mejorada y solo un usuario "throughput" usando la misma huella de la célula (como sucede en IS-95B) permite la integración de servicios WLL con sistemas celulares de alta movilidad de tráfico usando la misma infraestructura.

7.2.3.5.5 Servicios de localización

Altas ganancias de diversidad y tasas chip, significativamente, mejoran la exactitud posicional de los servicios de localización con respecto a IS-95B.

Esto es posible para las portadoras al aumentar el nivel de transmisión del Canal Piloto para proporcionar una Función de Potencia Alta -como de capacidad mientras todavía se transmite en el Canal Fundamental (para evitar interrupciones en el servicio de voz).

7.2.3.6 Complejidad de la estación móvil

A continuación, se describen atributos de RTT de cdma2000 que afectan la complejidad de la estación móvil.

7.2.3.6.1 "Enlace de bajada o directo" (Forward) de tasa alta y de voz

El receptor de MS de alta tasa de datos (cdma2000) no requiere ninguna mejoría especial de diseño relacionado a otras propuestas de 3G que ofrecen capacidades similares. En general:

- Altas tasas de datos requieren más procesamiento.
- Amplios anchos de banda requieren un filtrado más complejo.

7.2.3.6.2 "Enlace de subida o inverso" (Reverse) de tasa alta y de voz

El transmisor de MS de alta tasa de datos (cdma2000) no requiere ninguna mejoría especial de diseño relacionado a otras propuestas de 3G que ofrecen capacidades similares. En general, el amplio ancho de banda y alta tasa de datos requiere actualizados amplificador de potencia para soportar un rango dinámico más grande.

7.2.3.6.3 Modo Directo (Forward) Dual 1.25 MHz w/IS-95B

El receptor de MS del sistema cdma2000 ha seguido la complejidad de implementación de un receptor de MS de modo dual soportando tanto operación de cdma2000 y de IS-95B:

- Para sistemas de portadora múltiple, el receptor requiere filtrado para múltiples portadoras de interfaz de radio directa (*forward*).
- Para sistemas de secuencia directa, el receptor requiere filtrado para dos anchos de banda diferentes.

7.2.3.6.4 Modo Inverso (Reverse) Dual 1.25 MHz /IS-95B

El transmisor de MS del sistema cdma2000 ha seguido la complejidad de implementación de un transmisor de MS de modo dual soportado tanto operación de cdma2000 y de IS-95B:

- El filtrado analógico y el amplificador de potencia deben soportar ambos anchos de banda.

7.2.3.6.5 Multibanda "Directa" e "Inversa"

El receptor y transmisor, respectivamente, de la MS del sistema cdma2000 en una implementación de multibanda son similares en complejidad de implementación a otros soluciones basadas en CDMA de banda ancha (WCDMA).

7.2.3.6.6 Tiempo de vida de la batería

Tiempo de conversación:

En cdma2000 el tiempo de conversación es mayor que para una estación móvil en IS-95B con la misma capacidad de batería. Esto se logra a través de más bajos requerimientos de potencia de transmisión promedio debido al fortalecimiento de diversidad y al enlace coherente "inverso" (*reverse*).

Tiempo de reserva:

El tiempo de reserva es mayor o iguala al de una estación móvil en IS-95B con la misma capacidad de batería.

7.2.3.6.7 *Tiempo de vida de la batería (de tasa alta)*

Circuitos y paquetes de datos:

El tiempo de vida de la batería de una estación móvil de cdma2000 es mayor que para una de IS-95B, sin embargo, en las primeras se tienen altas tasas de transmisión de circuitos y paquetes de datos con la misma capacidad de batería. Esto se logra a través de más bajos requerimientos de potencia de transmisión promedio debido al refuerzo de diversidad, mejora de la eficiencia de modulación, y, en el caso de paquetes de datos, un fortalecimiento de la capa MAC.

7.2.3.6.8 *Tamaño y Ponderación*

La ponderación y tamaño de una estación móvil de cdma2000 es menor a los empleados en IS-95B con el mismo tiempo de conversación y de reserva. Esto se logra a través de más bajos requerimientos de potencia de transmisión promedio debido al fortalecimiento de la diversidad y la eficiente transmisión de datos de alta velocidad. Estos factores también pueden producir los mismos tiempos de conversación y de reserva como las estaciones móviles de IS-95B con baterías más pequeñas.

7.2.3.6.9 *Requerimientos de linealidad del receptor, de emisión y calidad de forma de onda*

Los requerimientos de linealidad del receptor, de emisión y de calidad de forma de onda de una estación móvil cdma2000 no son significativamente diferentes a los empleados en IS-95B.

7.2.3.6.10 *Requerimientos y categorías de potencia de transmisión*

Todas las categorías de potencia de IS-95B son soportados por cdma2000. Se definirán categorías de potencia adicionales como requisito para soportar tasas de datos muy altas.

7.2.3.6.11 *Requerimientos de antena y estabilidad de frecuencia*

Cdma2000 no establece requerimientos especiales de antena y de estabilidad de frecuencia en la estación móvil a los empleados en IS-95B.

7.2.3.7 *Complejidad de la estación base*

A continuación, se describen atributos de RTT de cdma2000 que afectan la complejidad de la estación base.

7.2.3.7.1 *Interfaz de radio directa (forward)*

Complejidad de diseño:

La complejidad en la implementación del transmisor en la estación base (incluso la BSC y BTS) de cdma2000 se compara con la obtenida en un sistema IS-95B como sigue:

- Para sistemas de portadora múltiple, la complejidad de la estación base para un sistema de sobreposición de canales con ancho de banda de $N \times 1.25$ MHz es del mismo orden de magnitud que para un sistema IS-95B de N portadoras.
- Para sistemas de secuencia directa, la complejidad de la estación base es igual a la de un sistema IS-95B de una sola portadora adaptado para tasas de datos más altas.

Requerimientos de linealidad:

Los requerimientos de linealidad del transmisor de la estación base (incluso la BSC y BTS) de cdma2000 se compara con los obtenidos en un sistema IS-95B como sigue:

- Para sistemas de portadora múltiple, los requerimientos de linealidad son los mismos a los de un sistema IS-95B para el mismo número de portadoras.
- Para sistemas de secuencia directa, los requerimientos de linealidad son los mismos a los de un sistema IS-95B con un amplificador de potencia de mayor ancho de banda.

Calidad de forma de onda y requerimientos de emisión:

La complejidad en la implementación del transmisor en la estación base (incluso la BSC y BTS) de cdma2000 requiere de encontrar la calidad de forma de onda y las restricciones de las emisiones, y compararlas con las obtenidas en un sistema IS-95B como sigue:

- Para sistemas de portadora múltiple, la calidad de forma de onda y los requerimientos de las emisiones son iguales a los de un sistema IS-95B para el mismo número de portadoras.
- Para sistemas de secuencia directa, la calidad de forma de onda y los requerimientos de las emisiones son iguales a los de un sistema IS-95B con un amplificador de potencia de mayor ancho de banda.

7.2.3.7.2 Interfaz de radio inversa (Reverse)

Complejidad de diseño:

El costo y la complejidad en el diseño de un receptor de BS (BSC y BTS) son menores a los obtenidos de un receptor IS-95B para semejantes tasas de datos.

Requerimientos de linealidad:

La complejidad en la implementación de un receptor en la estación base de cdma2000 radica en encontrar los requerimientos de linealidad semejantes a los de un sistema IS-95B.

7.2.3.7.3 Requerimientos de antena

Los requerimientos de antena para el sistema cdma2000 (ej., geometría, diversidad, requerimientos o soporte para arreglos de antenas, etc.) son los siguientes:

- Los sistemas de portadora múltiple, pueden emplear diversidad espacial entre las portadoras de la interfaz de radio directa para lograr significativos aumentos de capacidad.
- Los sistemas de secuencia directa, pueden emplear diversidad espacial para transmitir códigos ortogonales en múltiples antenas sobre la interfaz de radio directa para lograr significativos aumentos de capacidad.

7.2.3.8 Interferencia Biomédica

El sistema cdma2000 emplea transmisiones continuas para producir interferencias biomédicas más bajas (ej., audífonos y marcapasos) que las obtenidas en IS-95B. Esto es una característica significativa de esta tecnología comparada a muchas otras propuestas de IMT-2000.

7.2.3.9 Interferencia

7.2.3.9.1 Canales y Bandas adyacentes

Para el sistema cdma2000, las restricciones y tolerancias a la interferencia entre canales y bandas adyacentes debido al mismo sistema o a un sistema IS-95B son iguales a las de un sistema IS-95B.

7.2.3.9.2 Con otras tecnologías

Para el sistema cdma2000, las restricciones y tolerancias a la interferencia entre bandas adyacentes debido a tecnologías TDMA, GSM, u otra interfaz de radio son iguales a las de un sistema IS-95B.

7.3 CARACTERÍSTICAS GENERALES DE CDMA2000

Los parámetros básicos de cdma2000 se muestran en la tabla 7.1. El sistema cdma2000 tiene una tasa de chip básica de 3.6864 Mcps, que es acomodada en un ancho de banda de 3.75 MHz. Esta tasa de chip es de hecho tres veces la tasa de chip utilizada en IS-95, que es 1.2288 Mcps, por lo tanto, el ancho de banda también fue triplicado.

Tabla 7.1: Parámetros básicos de cdma2000.

Tecnología de Acceso de Radio	SD-CDMA, MC-CDMA
Ambientes de operación	Interiores / Exteriores a Interiores / Vehicular
Tasa chip [Mcps]	> para secuencia directa (SD): 1.2288 / 3.6864 / 7.3728 / 11.0592 / 14.7456 > para portadora múltiple (MC): $n \times 1.2288$ ($n = 1, 3, 6, 9, 12$)
Ancho de banda de canal [MHz]	1.25 / 3.75 / 7.5 / 11.25 / 15
Modos de duplexación	TDD, FDD
Longitud de trama	20 ms para datos y control, 5 ms para información de control en el canal de control dedicado y fundamental.
Esquema de detección	Coherente con canal piloto común
Operación intercélula	FDD: síncrono TDD: síncrono
Modulación de expansión	QPSK Balanceado (enlace descendente) QPSK de canal dual (enlace ascendente) Circuitos complejos de expansión
Modulación de datos	QPSK (enlace descendente) BPSK (enlace ascendente)
Multiplexaje de canal (enlace ascendente)	Multiplexación por código en los canales de control, piloto, fundamental y suplementarios
Multitasas	Expansión variable y multicondición
Factor de expansión	Variable de 4 a 256
Control de potencia	Lazo abierto y cerrado
Transferencia de Llamada (Handover)	Handover suave Handover de interfrecuencia

Para hacer posible mayores tasas de transmisión de bits fue necesario tener más altas tasas de chip del orden de $N \times 1.2288$ Mcps, $N = 6, 9, 12$. El valor de N es un parámetro importante para definir la tasa de codificación y la tasa de bits del canal. Para transmitir señales con una mayor tasa de chip ($N > 1$), cdma2000 cuenta con dos técnicas de modulación: *modulación de secuencia directa y de portadora múltiple*. En la modulación de secuencia directa, los símbolos son expandidos de acuerdo a la tasa de chip y son transmitidos utilizando una única portadora, dando un ancho de banda de $N \times 1.25$ MHz. Este método se utiliza tanto en el enlace de ascendente como en el enlace de descendente. En la modulación de portadora múltiple, los símbolos a ser transmitidos son demultiplexados en señales separadas, cada una de las cuales es posteriormente esparcida con una tasa de chip de 1.2288 Mcps. Existen N diferentes portadoras de frecuencia para transmitir estas señales esparcidas, donde cada una tiene un ancho de banda de 1.25 MHz.

Este método solo se utiliza en el enlace de descendente, ya que en este caso, la diversidad de transmisión se puede lograr al transmitir las diferentes portadoras en antenas espacialmente separadas.

Al emplear portadoras múltiples, los canales de cdma2000 son capaces de coexistir con las señales que existen en los canales de IS-95 de 1.25 MHz, y de mantener la ortogonalidad entre ellos. Un ejemplo de un escenario de sobreposición de portadoras se muestra en la figura 7.2. Mayores tasas de chip son transmitidas a una potencia más baja, que tasas de chip más pequeñas. De aquí, que las interferencias se mantengan al mínimo.

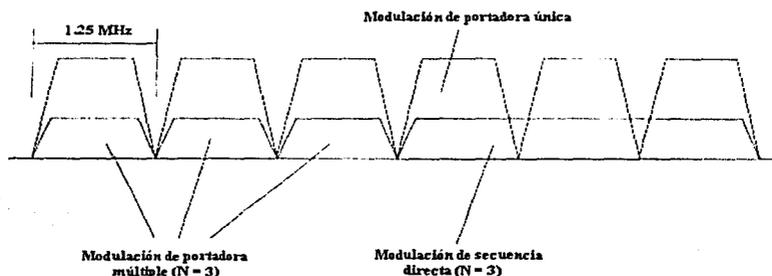


Figura 7.2: Ejemplo de un despliegue de sobreposición de portadoras en cdma2000. El modo de portadora múltiple solo se utiliza en el enlace descendente.

Cdma2000 soporta (similar a IMT-2000) una operación TDD en bandas de frecuencias impares. Con el objetivo de facilitar la implementación de terminales modo dual FDD/TDD, la mayoría de las técnicas utilizadas para la operación FDD pueden también ser aplicadas en la operación de TDD. La principal diferencia entre estos modos se encuentra en la estructura de la trama, es decir, un tiempo de guarda adicional es incluido en la operación TDD.

En contraste a lo establecido en IMT-2000, cdma2000 utiliza un continuo canal piloto común multiplexado por código en el enlace de descendente, como en un sistema IS-95. La ventaja de este canal radica en que no necesita un encabezado de información adicional para cada usuario. Sin embargo, si se utilizan antenas adaptables (*adaptive*) entonces se tiene que transmitir canales piloto adicionales por cada antena.

Otra diferencia con respecto a IMT-2000 es que las estaciones base de cdma2000 son operadas en modo síncrono, es decir, cada estación base quedaría identificada con el mismo código de pseudo ruido (PN) pero con diferentes desplazamientos (offsets) de fase; esta característica nos facilita la adquisición inicial de célula.

7.4 ESTRUCTURA ESTRATIFICADA CDMA2000

Cdma2000 posee una estructura estratificada para proveer voz, paquetes de datos (mayores a 64 Kbps), circuitos de datos (fax y datos), y servicios simultáneos (de voz y paquetes de datos, entre otros). Las capas

de esta estructura (físico, enlace y red) han sido diseñadas para aumentar la modulación del sistema.

La tecnología cdma2000 provee protocolos y servicios que corresponden a las dos últimas capas inferiores del modelo de referencia OSI / ISO de la Organización Internacional de Estandarización / Sistema Abierto de Interconexión (capa1-capa física, y capa2 -capa de enlace) de acuerdo a la estructura general especificada por la UIT para IMT-2000.

Motivado en los mayores anchos de banda, y la necesidad de manejar una gran variedad de servicios que exigen los servicios de 3G, diversas mejoras se han incorporado al sistema cdma2000. Cdma2000 cuenta con un modelo de servicio de multimedia generalizado, lo cual permite, casi cualquier combinación de voz, paquetes de datos y servicios de datos por circuitos de alta velocidad que operen simultáneamente (dentro de las limitaciones de capacidad de la interfaz de aire del sistema). El sistema cdma2000 también incluye un sofisticado mecanismo de control de la calidad del servicio (QoS) para nivelar los diversos requerimientos de QoS que pueden tener diferentes servicios.

La figura 7.3 muestra, a gran escala, las 3 capas inferiores donde podemos observar que las *capas superiores* realizan el transporte de servicios de datos provistos por la capa de enlace cdma2000. Por facilidad llamaremos a las capas superiores a la capa de enlace (capas de Red, Transporte, Sesión, Presentación y Aplicación) como *capas superiores*. La capa de enlace, entrega los servicios de transporte de datos y utiliza la codificación base de la interfaz de aire y los servicios de modulación de la capa física para comunicarse con la estación base.

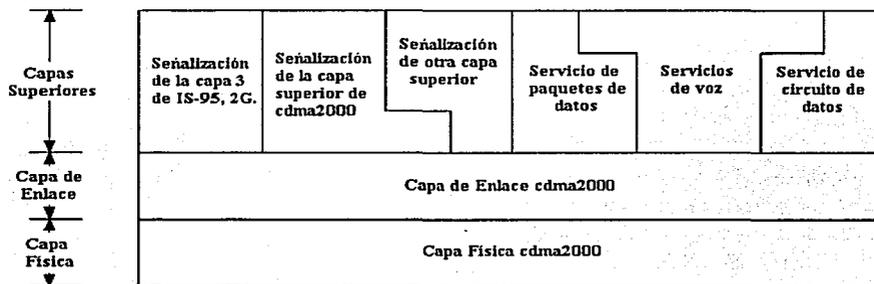


Figura 7.3: Visión de las tres capas más bajas de la RTT cdma2000.

7.4.1 Capas Superiores

La tecnología de radiotransmisión (RTT) cdma2000 posee una estructura flexible y abierta para la inclusión de nuevos servicios de capas superiores que provengan de diferentes configuraciones, dependiendo de las capacidades que se requieran y de la red vecina con la cual la nueva tecnología vaya a ser integrada. El término *capas superiores* lo referimos colectivamente, como ya se había mencionado, a la capa 3 de modelo de referencia OSI y superiores. Las *capas superiores* de la tecnología cdma2000 contienen varios servicios que pueden describirse en las siguientes tres categorías:

1. **Servicios de voz:** Servicios de voz telefónica (incluyendo acceso a PSTN, estación móvil a estación móvil, y telefonía por Internet).
2. **Servicios de entrega de datos a usuarios finales:** Servicios que entreguen cualquier forma de datos, de estaciones móviles a usuarios finales, incluyendo paquetes de datos (servicios IP), servicios de circuitos de datos (servicios B-ISDN), y servicios de mensajes cortos (SMS); y
3. **Señalización:** Servicios que controlan todos los aspectos de operación de la estación móvil.

Algunos de los servicios que proveen estas capas son: servicios de señalización, servicios de voz, aplicaciones de paquetes de datos y circuitos de datos.

7.4.1.1 Servicios de Voz

El estándar cdma2000 ofrece los siguientes servicios de voz (sin embargo es posible la integración con otros servicios de voz de capas superiores de sistemas diferentes a cdma2000):

- *Compatibilidad con los servicios de voz IS-95B:* Tráfico de voz codificada bajo IS-95 y transportada directamente en un canal Fundamental sin características adicionales a las capas LAC y MAC cdma2000.
- *Transporte de servicios de voz cdma2000 sobre paquetes de datos.*
- *Transporte de servicios de voz cdma2000 sobre Circuitos de Datos.*

7.4.1.2 Servicios de Datos

Cdma2000 define dos tipos básicos de servicios de datos (aunque casi cualquier servicio de datos puede ser integrados fácilmente como servicios de capas superiores cdma2000):

- *Servicios de paquetes de Datos:* Soporte de servicios relacionados con el protocolo e Internet (*IP*), protocolos (TCP y UDP), así como el protocolo de interconexión de redes OSI; y
- *Servicios de Circuitos de Datos:* Soporte de servicios de acceso asíncrono (dial-up), FAX, V.120 adaptado a ISDN, y servicios B-ISDN.

7.4.1.3 Señalización

Cdma2000 puede soportar la integración arbitraria de servicios de señalización de capas superiores, sin embargo, cdma2000 especifica dos servicios principales de señalización:

- *Servicios de Señalización IS-95 2G.*
- *Señalización en capas superiores cdma2000.*

7.4.2 Capa de Enlace

La capa de enlace provee protocolos y mecanismos de control para el transporte de servicios de datos. La capa de enlace soporta diferentes niveles de fiabilidad y calidad de servicio (*QoS*) de acuerdo a las necesidades de los diferentes servicios de capas superiores. Finalmente, la capa de enlace desempeña todas las funciones necesarias para mapear las necesidades de transporte de datos de las capas superiores en las características y capacidades específicas de la capa física. En particular, la capa de enlace mapea los canales de señalización y de datos lógicos en canales codificados, los cuales son modulados y codificados por funciones de la capa física.

La capa de enlace está subdivida en dos capas:

1. "Control de Acceso de Enlace" (*LAC, Link Access Control*).
2. "Control de Acceso Medio" (*MAC, Media Access Control*).

7.4.2.1 Subcapa LAC

La subcapa LAC realiza el transporte de datos sobre la interfaz de aire entre las capas superiores. Para otorgar este servicio, la capa LAC emplea diversos protocolos para igualar los requerimientos de calidad de servicio

de cada capa superior con las características de la subcapa MAC. La capa LAC mejora el desempeño de las capas superiores que requieren una mayor QoS a la que es otorgada directamente por la capa MAC. Esto lo hace utilizando diversos protocolos ARQ que utilizan secuencias de números y retransmisión de los paquetes perdidos o dañados. Estos protocolos garantizan una entrega libre de errores.

La principal tarea de la subcapa LAC es dirigir los canales de comunicación punto a punto entre cada una de las capas superiores para servicios de señalización y (opcionalmente) de circuitos de datos. La capa LAC posee una estructura capaz de soportar diversos protocolos confiables de la capa de enlace (de hecho, la capa LAC está abierta para incorporar cualquier protocolo apropiado para la capa de enlace). Los factores que motivan esta posible extensión son:

- Las diferentes capas superiores tienen diferentes requerimientos de QoS.
- La subcapa MAC entrega diferentes QoS a la subcapa LAC (en diferentes modos de operación).
- La subcapa MAC puede estar limitada por la compatibilidad con sistemas anteriores (capa 2 de señalización IS-95).
- La subcapa MAC puede ser compatible con otros protocolos de la capa de enlace (por ejemplo, con interfaces de aire diferentes a IS-95 o con futuros protocolos definidos por la UIT para 3G).

Los protocolos de la capa de enlace soportados por la subcapa LAC incluyen (pero no están limitados a éstos):

- Capa 2 de Señalización IS-95 2G;
- Capa 2 de Señalización cdma2000;
- Capa 2 de Paquetes de Datos cdma2000;
- Capa 2 de Circuitos de Datos cdma2000; y
- Protocolo de capa de enlace Nulo (en situaciones donde la subcapa MAC entregue una adecuada QoS sin necesidad de mejora).

7.4.2.2 Subcapa MAC

La subcapa de control de acceso medio (*MAC*) realiza funciones esenciales para el inicio, soporte y terminación de una conexión lógica. La subcapa MAC provee de funciones que controlan y administran los recursos provistos por la capa física y coordina el uso de los recursos que utiliza la subcapa LAC. La subcapa MAC también es responsable de entregar el nivel adecuado de QoS solicitado por la subcapa LAC (reservando recursos de interfaz de aire o resolviendo prioridades entre entidades competitivas de servicio LAC). Además de lo mencionado, la subcapa MAC provee de tres importantes funciones:

1. **Control de estados:** Procedimientos que controlen el acceso a servicios de datos (paquetes y circuito) a la capa física (incluyendo el control de disputas entre diferentes servicios de un solo usuario, o bien entre diferentes usuarios en un sistema inalámbrico).
2. **Mejorar la calidad de entrega:** Transmisión bastante confiable sobre el enlace de radio con un protocolo de enlace de radio (*RLP*) que proporcione una alta calidad y confiabilidad en la entrega de información.
3. **Multiplexaje y control de QoS:** Negociación de los niveles de QoS mediante las diversas peticiones de servicios competitivos y una apropiada prioridad de las peticiones de acceso.

En la figura 7.4, se muestran algunas características mencionadas previamente.

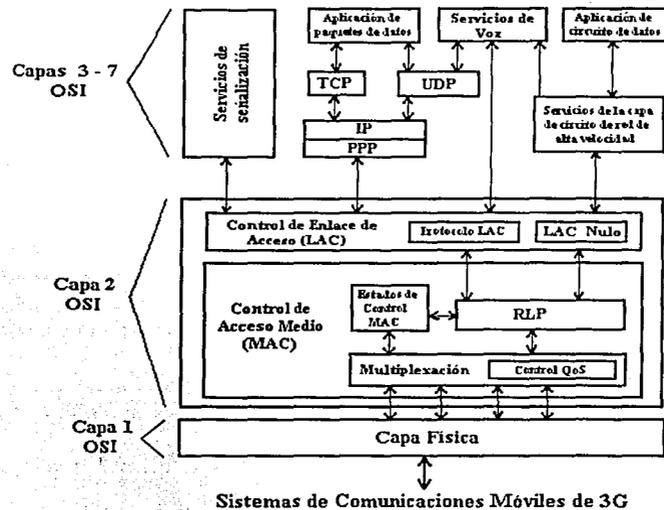


Figura 7.4: Estructura de capa de IS-95 y cdma2000.

7.4.3 Capa Física

La capa Física cdma2000 provee de servicios de codificación y modulación para un conjunto de canales lógicos que son utilizados por la subcapa MAC.

7.5 CANALES FÍSICOS EN CDMA2000

Los canales físicos (*PHCH*) en cdma2000 se pueden clasificar en dos grupos: *canales físicos dedicados* (DPHCH) y *canales físicos comunes* (CPHCH). Los DPHCHs son aquellos canales que transportan información entre la estación base y una única estación móvil, a diferencia de los CPHCHs los cuales transportan información entre la estación base y varias estaciones móviles. La tabla 7.5 muestra la colección de canales físicos para cada grupo, tanto para el enlace ascendente (*UL*) como para el enlace descendente (*DL*).

Tabla 7.5: Canales Físicos de cdma2000.

Canales Físicos Dedicados (DPHCH)	Canales Físicos Comunes (CPHCH)
Canales Fundamentales (FCH) (<i>UL/DL</i>)	Canal Piloto (PHCH) (<i>DL</i>)
Canales Suplementarios (SCH) (<i>UL/DL</i>)	Canal Auxiliar Piloto Común opcional (CAPICH) (<i>DL</i>)
Canal de Control Dedicado (DCCH) (<i>UL/DL</i>)	Canal de Búsqueda (FCH) (<i>DL</i>)
Canal Auxiliar Piloto Dedicado (DAPICH) (<i>DL</i>)	Canal de Sincronía (SYNCH) (<i>DL</i>)
Canal Piloto (<i>UL</i>)	Canal de Acceso (ACH) (<i>UL</i>)
	Canal Común de Control (CCCH) (<i>UL/DL</i>)

Generalmente, todos los canales físicos se transmiten utilizando una longitud de trama de 20 ms. Sin embar-

go, la información de control en el Canal Fundamental y el Canal de Control Dedicado se pueden transmitir en tramas de 5 ms.

Cada estación base transmite su propio *Canal Piloto* (PICH) en el enlace descendente, el cual es compartido por todas las estaciones móviles que se encuentran dentro del área de cobertura de la estación base. Las estaciones móviles pueden utilizar este canal piloto común en el enlace descendente para realizar la estimación del canal, y registrar la detección coherente, handoff suave, y la energía de los rayos de multitrayectoria obtenida del combinador RAKE. El PICH es transmitido ortogonalmente con todos los canales físicos del enlace descendente de la estación base, usando un código ortogonal único (código Walsh 0). Los *Canales Piloto Auxiliares Comunes* (CAPICH) opcionales y los *Canales Piloto Auxiliares Dedicados* (DAPICH) se utilizan para soportar la implementación de arreglos de antenas. Los CAPICHs comparten una ranura de cobertura entre un grupo de estaciones móviles, mientras un DAPICH se enfoca a una estación móvil en particular. Toda estación móvil también transmite un PICH ortogonal multiplexado por código en el enlace ascendente, el cual habilita a la estación base para ejecutar la detección coherente en el enlace ascendente, así como detectar la energía de las multitrayectorias e invocar las mediciones de control de potencia.

Por otra parte, este PICH difiere del empleado en IS-95, ya que éste solo soporta detección no coherente en el enlace ascendente debido a la ausencia de una referencia de coherente en el enlace ascendente. Además de los símbolos piloto, el canal piloto del enlace ascendente también contiene bits de control de potencia multiplexados en el tiempo, necesarios en el control de potencia del enlace descendente. Un bit de control de potencia es multiplexado dentro de la trama de 20 ms cada 1.25 ms, dando un total de 16 bits de control de potencia por cada trama de 20 ms, lo cual genera un régimen de control de potencia muy rápido. A cada duración de 1.25 ms se le conoce como un *Grupo de Control de Potencia* (PCG), como se muestra en la figura 7.6.

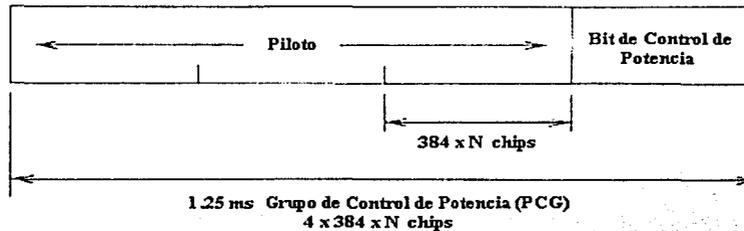


Figura 7.6: Estructura de canal piloto del enlace ascendente en cdma2000, para una duración de 1.25 ms de PCG, donde $N = 1, 3, 6, 9, 12$ es el parámetro de tasa de control.

La utilización de dos canales físicos de datos dedicados, conocidos como *Canales Fundamentales* (FCH) y *Suplementarios* (SCH) optimiza el funcionamiento del sistema durante las múltiples transmisiones de servicios simultáneos. Cada canal transporta un diferente tipo de servicio el cual es codificado y entrelazado (*interleaving*) independientemente. Sin embargo, en cualquier conexión sólo es posible tener un FCH, y varios SCHs.

El *canal fundamental* transporta voz, señalización, y baja tasa de datos. Básicamente opera a tasas de 9.6 Kb/s y 14.4 Kb/s, y sus correspondientes subtasas. Este tipo de canal normalmente operará en handoff suave, y generalmente no opera de manera programada, de tal manera que permite a la estación móvil transmitir mensajes de reconocimiento o paquetes, lo cual reduce retardos. La principal diferencia comparada al canal de voz de IS-95 es que existe la transmisión discontinua utilizando repetidas codificaciones.

Los *canales suplementarios* pueden soportar altas tasas de datos. En el enlace ascendente puede haber uno o dos canales de este tipo.

El *canal de sincronización* (SYCH) tienen la función de ayudar a la sincronización inicial de una estación móvil y de proveer información relacionada con el sistema. El canal de sincronización tiene una tasa de deco-

dificación de datos de 1.2 Kbps y una tasa de codificación de datos de 4.8 Kbps.

El *Canal de Voceo* (PCH) y el *Canal de Control Común* (CCCH) en el enlace descendente se encargan de las funciones de voceo (o búsqueda) y de transmisión de paquetes de datos. La tasa de decodificación de datos en PCH puede estar entre 4.8 Kbps o 9.6 Kbps. El CCCH es una versión mejorada del PCH, el cual puede soportar mayores tasas de datos como de 19.2 y 38.4 Kbps. En este caso, se utilizaría una trama con longitud de 5 ms a 10 ms. El PCH se incluye en el esquema cdma2000 para proporcionar funcionalidad del sistema IS-95B.

En el modo TDD, las tramas de 20 ms y 5 ms se dividen en 16 y 4 ranuras de tiempo, respectivamente. Esto da una duración de 1.25 ms por cada ranura de tiempo, como se muestra en la figura 7.7. Un tiempo de guarda de 52.08 μ s y 67.44 μ s se utiliza en el enlace descendente en la modulación de portadora múltiple y en la modulación de secuencia directa, respectivamente. En el enlace ascendente, el tiempo de guarda es de 52.08 μ s.

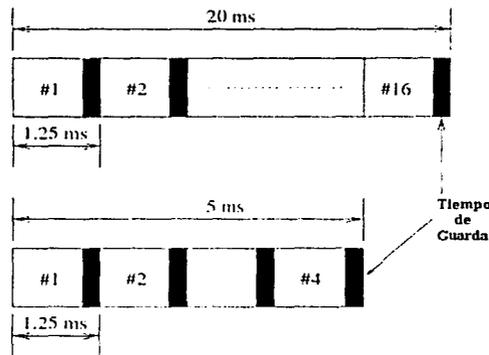


Figura 7.7: Estructura de trama TDD en cdma2000.

7.6 PROCESOS CDMA2000

7.6.1 Multiplexaje y Codificación de Canal

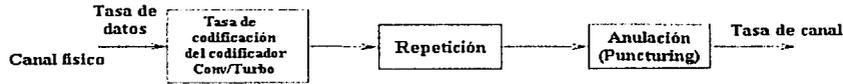
Los servicios de diferentes tasas de datos y requerimientos de QoS son transportados por diferentes canales físicos, es decir, por los canales FCH y SCH (ver tabla 7.5). Esto difiere de IMT-2000, ya que los diferentes servicios son multiplexados en tiempo en uno o más canales físicos. Estos canales en cdma2000 se multiplexan usando códigos Walsh. Dos tipos de esquemas de codificación se presentan en cdma2000, como se muestra en la tabla 7.8

Tabla 7.8: Parámetros de codificación de canal cdma2000.

	Convolutional	Turbo
Tasa	1/2 o 1/3 o 1/4	1/2 o 1/3 o 1/4
Longitud de limitación	9	4

Básicamente, todos los canales usan códigos convolucionales para la corrección de errores de encabezado (*forward*). Sin embargo, para los canales suplementarios con tasas mayores a 14.4 Kbps se prefiere la codificación con turbo códigos. La tasa de la entrada de flujo de datos es igualada a la tasa de canal dada, ajustando la tasa de codificación o bien usando repetición de símbolos con o sin anulación (*puncturing*), o alternadamente, con repetición de secuencia.

Las tablas 7.9 y 7.10 muestran la tasa de codificación y los procedimientos asociados a la tasa de igualación (*matching*) para los diversos canales físicos del enlace ascendente y descendente, respectivamente.



Canal Físico	Tasa de datos	Tasa de codificación	Repetición	Anulación	Tasa de canal
SYCH	1.2 kbps	1/2	×2	0	4.8 kbps
	4.8 kbps	1/2	×2	0	19.2 kbps
FCH	9.6 kbps	1/2	×1	0	19.2 kbps
	19.2 kbps	1/2	×1	0	38.4 kbps
CCCH	9.6 kbps	1/2	×1	0	19.2 kbps
	38.4 kbps	1/2	×1	0	76.8 kbps
FCH	1.5 kbps	1/2	×8	1 of 5	19.2 kbps
	2.7 kbps	1/2	×4	1 of 9	19.2 kbps
	4.8 kbps	1/2	×2	0	19.2 kbps
	9.6 kbps	1/2	×1	0	19.2 kbps
	1.8 kbps	1/3	×8	1 of 9	38.4 kbps
	3.6 kbps	1/3	×4	1 of 9	38.4 kbps
	7.2 kbps	1/3	×2	1 of 9	38.4 kbps
	14.4 kbps	1/3	×1	1 of 9	38.4 kbps
SCH	9.6 kbps	1/2	×1	0	19.2 kbps
	19.2 kbps	1/2	×1	0	38.4 kbps
	38.4 kbps	1/2	×1	0	76.8 kbps
	76.8 kbps	1/2	×1	0	153.6 kbps
	153.6 kbps	1/2	×1	0	307.2 kbps
	307.2 kbps	1/2	×1	0	614.4 kbps
	14.4 kbps	1/3	×1	1 of 9	38.4 kbps
	28.8 kbps	1/3	×1	1 of 9	76.8 kbps
	57.6 kbps	1/3	×1	1 of 9	153.6 kbps
	115.2 kbps	1/3	×1	1 of 9	307.2 kbps
230.4 kbps	1/3	×1	1 of 9	614.4 kbps	
DCCH	9.6 kbps	1/2	×1	0	19.2 kbps

Tabla 7.9: Parámetros de codificación del canal físico del enlace descendente (cdma2000) para N = 1, donde la Repetición x2 implica una transmisión total de dos copias.



Canal Físico	Tasa de datos	Tasa de codificación	Repetición 1	Anulación	Repetición 2	Tasa de canal
CCCH	19.2 kbps	1/4	×1	0	×4	307.2 kbps
	38.4 kbps	1/4	×1	0	×2	307.2 kbps
FCH	1.5 kbps	1/4	×8	1 of 5	×8	307.2 kbps
	2.7 kbps	1/4	×4	1 of 9	×8	307.2 kbps
	4.8 kbps	1/4	×2	0	×8	307.2 kbps
	9.6 kbps	1/4	×1	0	×8	307.2 kbps
	1.8 kbps	1/4	×16	1 of 3	×4	307.2 kbps
	3.6 kbps	1/4	×8	1 of 3	×4	307.2 kbps
	7.2 kbps	1/4	×4	1 of 3	×4	307.2 kbps
	14.4 kbps	1/4	×2	1 of 3	×4	307.2 kbps
SCH	9.6 kbps	1/4	×1	0	×16	614.4 kbps
	19.2 kbps	1/4	×1	0	×8	614.4 kbps
	38.4 kbps	1/4	×1	0	×4	614.4 kbps
	76.8 kbps	1/4	×1	0	×2	614.4 kbps
	153.6 kbps	1/4	×1	0	×1	614.4 kbps
	307.2 kbps	1/2	×1	0	×1	614.4 kbps
ACH	4.8 kbps	1/4	×1	0	×8	307.2 kbps
	9.6 kbps	1/4	×1	0	×4	307.2 kbps
DCCH	9.6 kbps	1/4	×1	0	×4	307.2 kbps

Tabla 7.10: Parámetros de codificación del canal físico (ver tabla 10.9) del enlace ascendente cdma2000 para N = 1, donde la Repetición x2 implica una transmisión total de dos copias.

7.6.2 Modulación y Esparcimiento

Generalmente existen tres capas de esparcimiento en cdma2000, como se muestra en la tabla 7.11. Las señales del enlace ascendente de cada usuario se identifican por medio de diferentes desplazamientos (*offsets*) de un código largo (procedimiento similar al de un sistema IS-95).

Tabla 7.11: Parámetros de esparcimiento en cdma2000.

	Códigos de canalización (UL/DL)	Códigos revolvedores para un usuario específico (UL)	Códigos revolvedores para una célula específica (DL)
Tipos de códigos	Códigos Walsh	Diferentes desplazamientos de una sucesión- <i>m</i> real	Diferentes desplazamientos de una sucesión- <i>m</i> compleja
Longitud de código	Variable	$2^{42} - 1$ chips	2^{15} chips
Tipos de esparcimiento	BPSK	BPSK	QPSK
Modulación de datos	DL: QPSK UL: BPSK		

Como se puede observar en la tabla 7.11, este código largo es una sucesión-*m* de chips con periodo de $2^{24} - 1$ chips. Los diferentes desplazamientos del usuario se obtienen utilizando largas máscaras de código. La ortogonalidad entre los diferentes canales físicos del mismo usuario y pertenecientes al mismo enlace ascendente se mantiene utilizando el esparcimiento con códigos Walsh.

En contraste al enlace descendente de IS-95, donde el esparcimiento con códigos Walsh se realiza antes que la modulación QPSK, en cdma2000 los datos son previamente modulados (QPSK), antes del esparcimiento resultante en las ramas I y Q con el mismo código Walsh. De esta manera, el número de códigos Walsh se ve incrementado al doble debido a la ortogonalidad de las portadoras I y Q. La longitud de los códigos Walsh de canalización en el enlace ascendente y descendente, varía dependiendo la tasa de datos (ver tabla 7.11).

Todas las estaciones base del sistema se distinguen por diferentes desplazamientos de la misma sucesión-*m* compleja del enlace descendente, este tipo de código es el mismo que se usa en IS-95, el cual tiene un periodo de $2^{15} = 32768$. Los polinomios de retroalimentación en los registros de cambio para las secuencias I y Q son: $X^{15} + X^{13} + X^9 + X^8 + X^7 + X^5 + 1$ y $X^{15} + X^{12} + X^{11} + X^{10} + X^6 + X^5 + X^4 + X^3 + 1$, respectivamente. El desplazamiento de estos códigos debe satisfacer un valor mínimo, el cual es equivalente a $N \times 64 \times \text{PRC}$, donde PRC es llamado el *Parámetro de Reuso de Código*, el cual depende de la topología del sistema, análogamente al factor de reuso de frecuencia en FDMA.

7.2.6.1 Modulación y esparcimiento en el enlace descendente

La figura 7.12 muestra la estructura de un transmisor para un canal físico en el enlace descendente. A diferencia de IS-95, los datos en el transmisor (cdma2000) del enlace descendente son primeramente modulados en QPSK antes de esparcirlos utilizando códigos Walsh. Como resultado, el número de códigos Walsh disponibles es aumentado al doble debido a la ortogonalidad de las portadoras I y Q. Los datos del usuario son primero revueltos con un código revolvedor largo asignando un diferente desplazamiento a los diferentes usuarios con el propósito de mejorar la privacidad del usuario.

Los canales piloto en el enlace descendente (PICH, CAPICH, DAPICH) y el canal de sincronización no son revueltos con un código largo dado que no hay la necesidad de un usuario específico. Los símbolos del control de potencia en el enlace ascendente son insertados en el canal fundamental (*FCH*) a una tasa de 800

Hz, como se muestra en la figura 7.12. Los canales I y Q son entonces esparcidos utilizando un código Walsh y multiplicados complejamente, por una secuencia de pseudo ruido (PN) de una célula específica. A cada canal en el enlace descendente de la estación base se le asigna un código Walsh diferente con el objetivo de eliminar cualquier interferencia intra-celular, ya que todos los códigos Walsh transmitidos por la estación base son recibidos sincrónicamente.

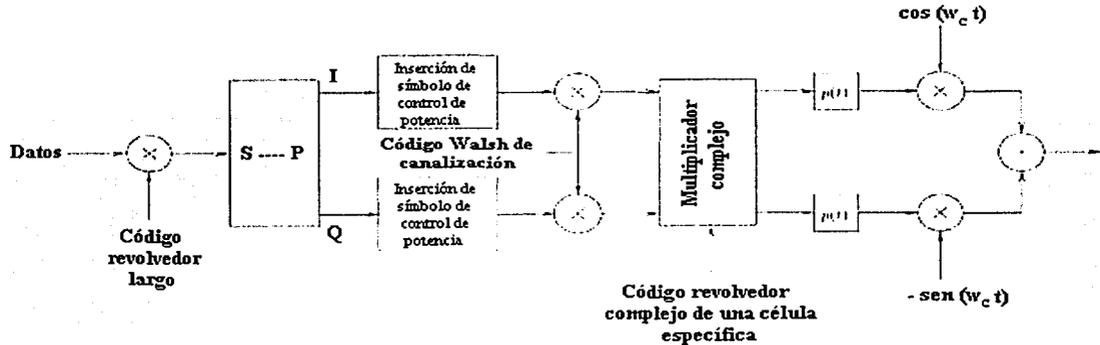


Figura 7.12: Transmisor (cdma2000) en el enlace descendente.

La longitud del código Walsh de canalización en el enlace descendente (tabla 7.11) se determina por el tipo de canal físico y su tasa de datos. Generalmente, para $N = 1$, los canales fundamentales (FCH) en el enlace descendente con tasas de transmisión de datos de 9.6 / 4.8 / 2.7 / 1.5 Kbps utilizan un código Walsh de 128 chips, y aquellos que transmiten a 14.4 / 7.2 / 3.6 / 1.8 Kbps utilizan un código Walsh de 64 chips. Los códigos Walsh para los canales suplementarios (SCH) en el enlace descendente varían de 4 chips a 128 chips. El canal piloto ($PICH$) en el enlace descendente es una secuencia no modulada (todos ceros) esparcida por un código Walsh 0. Finalmente, los datos esparcidos complejamente (figura 7.12) son filtrados en banda base utilizando un filtro Nyquist con respuestas impulso $p(t)$ (figura 7.12) y modulados con una frecuencia de portadora.

Para el caso de modulación de portadora múltiple, los datos son divididos en N grupos e inmediatamente después revueltos por un código largo. Posteriormente, cada grupo es tratado como un transmisor independiente y modulado utilizando diferentes frecuencias de portadora.

7.2.6.2 Modulación y esparcimiento en el enlace ascendente

El transmisor cdma2000 en el enlace ascendente se muestra en la figura 7.13. Los canales $PICH$ y $DCCH$ en el enlace ascendente mapean al canal de datos I, mientras los canales FCH y SCH mapean el canal Q (figura 7.13). Cada uno de estos canales físicos en el enlace ascendente pertenecientes al mismo usuario, se les asigna un diferente código Walsh de canalización para mantener la ortogonalidad entre ellos. Los canales de datos I y Q son posteriormente esparcidos con una multiplicación compleja, empleando una sucesión- m real con un desplazamiento específico de usuario basada en código revolvedor (tabla 7.11) y un código revolvedor complejo, el cuál es el mismo para todas las estaciones móviles en el sistema. Por otra parte, éste último código es idéntico al código revolvedor de una célula específica en el enlace descendente. El código revolvedor complejo solo se utiliza con el propósito de un esparcimiento de cuadratura. Finalmente, además de reducir la complejidad del receptor en la estación base, éste código es idéntico al código revolvedor (tabla 7.11) de una célula específica utilizado en el enlace descendente por todas las estaciones base.

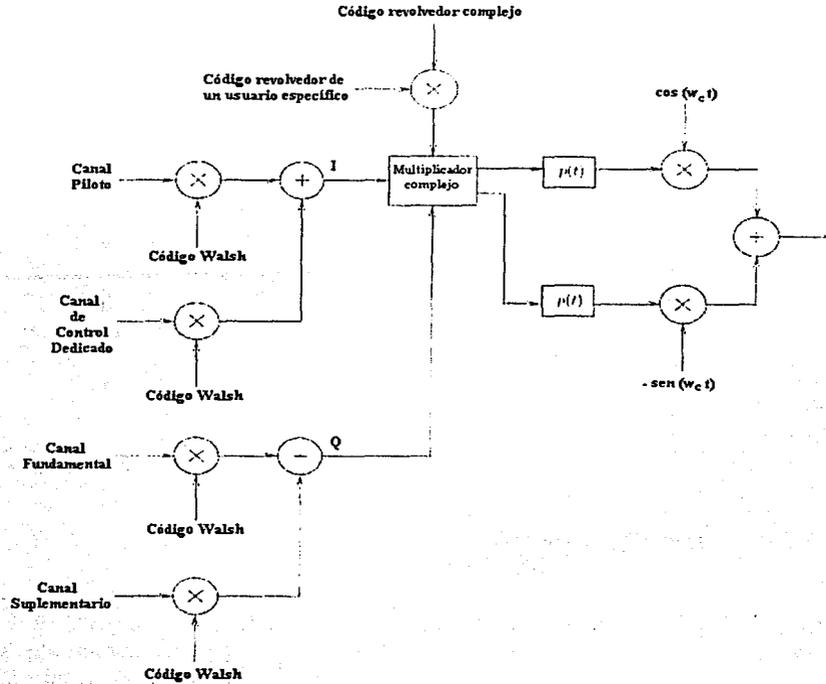


Figura 7.13: Transmisor (cdma2000) en el enlace ascendente.

7.7 PROCESO DE ACCESO ALEATORIO EN CDMA2000

La estación móvil inicia una petición de acceso a la red transmitiendo repetidamente un 'sondeo de acceso', hasta que una petición es recibida. Todo este proceso de enviar una petición es conocido como un "intento de acceso". Dentro de un intento de acceso, la petición puede ser enviada a varias estaciones base. Un intento de acceso enviado a una estación base específica es conocido como un "subintento". Dentro de un subintento, se pueden enviar varios sondeos de acceso con potencias que se incrementan. La figura 7.14 muestra un ejemplo de un intento de acceso.

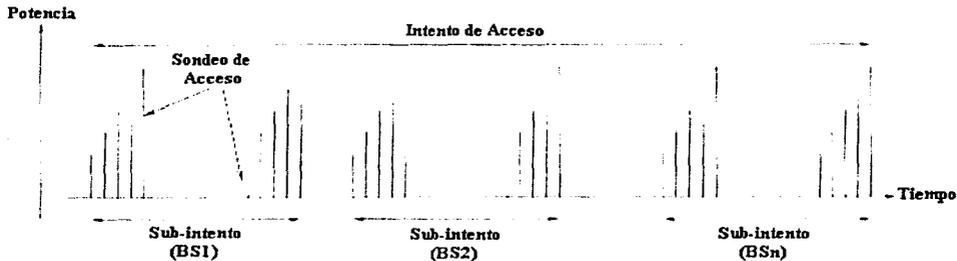


Figura 7.14: Un intento de acceso para una estación móvil en cdma2000 usando el sondeo de acceso de la figura 7.15.

Un sondeo de acceso puede dividirse en dos partes, como se muestra en la figura 7.15. El preámbulo de acceso transporta un canal piloto sin datos a un nivel de potencia alto. El mensaje encapsulado en el canal de acceso transporta la información del canal de acceso (ACH) o mensajes del canal de control común (CCCH) del enlace ascendente. La estructura del canal piloto es similar al del enlace ascendente, excepto de que en este caso no existen bits de control de potencia multiplexados en el tiempo.

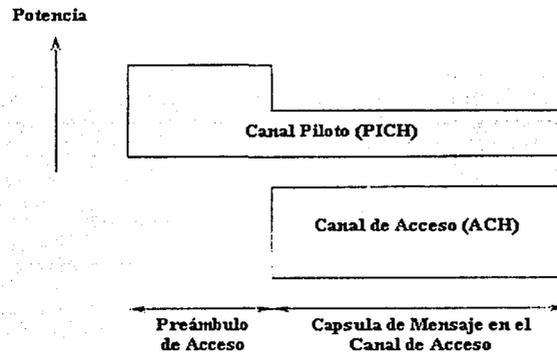


Figura 7.15: Transmisión de un sondeo de acceso cdma2000 empleando el régimen de la figura 7.14.

La longitud del preámbulo en la figura 7.15 es un múltiplo entero de los intervalos de ranura de 1.25 ms. La longitud específica del preámbulo de acceso es indicada por la estación base, que depende en que tan rápido la estación base puede buscar un espacio de código PN para reconocer un intento de acceso. El canal de acceso (ACH) se transmite a una tasa fija de 9.6 ó 4.8 Kbps, esta tasa es constante durante el sondeo de acceso (figura 7.14). El canal ACH o CCCH, y su canal piloto asociado son esparcidos por un código de esparcimiento (tabla 7.11), como se muestra en la figura 7.16. Los diferentes canales ACH o CCCH, y sus canales pilotos asociados son esparcidos con diferentes códigos largos.

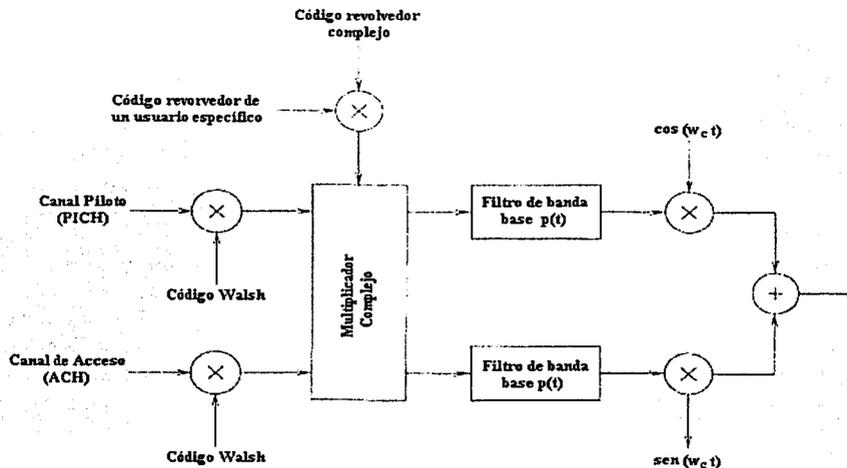


Figura 7.16: Modulación y esparcimiento del canal de acceso cdma2000.

Los sondeos de acceso de la figura 7.15 son transmitidos en las ranuras predefinidas, donde la longitud de la ranura es determinada por la estación base. Cada ranura es lo suficientemente larga para alojar el preámbulo y el mensaje más largo de la figura 7.15. La transmisión debe empezar al inicio de cada ranura de 1.25 ms. Si la estación móvil no recibe ningún reconocimiento del último sondeo transmitido después de un cierto periodo límite, se transmite otro sondeo en una ranura elegida aleatoriamente, como se muestra en la figura 7.14.

Dentro de un "subintento", se transmite una secuencia de sondeos de acceso, hasta que se reciba un reconocimiento de la estación base. Cada sondeo de acceso sucesivo se transmite con una potencia mayor a la anterior, como se muestra en la figura 7.17. La potencia inicial (IP) del primer sondeo es determinada por el control de potencia de lazo abierto aunado a una compensación (*offset*) de potencia nominal que corrige cualquier desequilibrio de control de potencia de lazo abierto entre el enlace ascendente y descendente. Los sondeos subsiguientes se transmiten a un mayor nivel de potencia que los previos. Este incremento en el nivel es indicado por el Incremento de Potencia (PI).

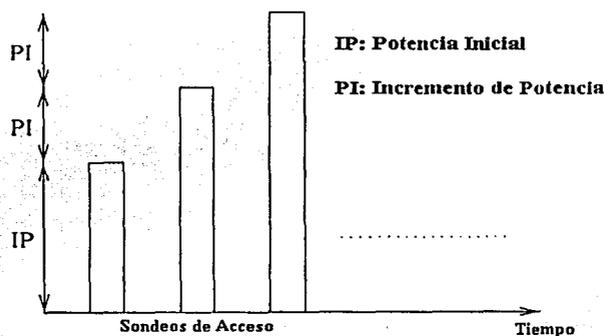


Figura 7.17: Sondeos de acceso dentro de un subintento de la figura 7.14.

7.8 HANDOVER CDMA2000

Como en IS-95, el handover suave en cdma2000 inicia en la estación móvil. El *Conjunto Activo* se define como aquel conjunto de estaciones base que transmiten al mismo tiempo a una determinada estación móvil. La estación móvil estará monitoreando constantemente el nivel de potencia en los canales piloto (*PICH*) recibidos por las estaciones bases vecinas incluyendo aquellas del conjunto activo de la estación móvil. Los niveles de potencia de estas estaciones base son posteriormente comparadas con un conjunto de umbrales con ayuda de un algoritmo. El conjunto de umbrales consiste de los *umbrales estáticos*, los cuales se mantienen a un nivel fijo, y los *umbrales dinámicos*, los cuales son ajustados dinámicamente basándose en la potencia total recibida. Posteriormente, la estación móvil informará a la red cuando cualquiera de los niveles de potencia monitoreados excede los umbrales.

Siempre que una estación móvil detecte un PICH, cuyo nivel de potencia excede el umbral estático especificado, conocido como T_1 , este PICH se moverá al conjunto candidato, y será buscado y comparado más frecuentemente con un umbral ajustado dinámicamente, denotado como T_2 . El valor de T_2 es una función de los niveles de potencia recibidos de los PICHs de las estaciones base en el conjunto activo. Este proceso determinará, si la estación base candidata es la adecuada para incluirla en el conjunto activo. Si el nivel de potencia global en el conjunto activo es débil, entonces el agregar una estación base con potencia alta mejoraría la recepción. Por el contrario, si el nivel de potencia global es relativamente alto, el agregar otra estación base con potencia alta sería innecesario y representaría un uso inadecuado de los recursos de la red.

Para las estaciones base que ya se encuentran en el conjunto activo, el nivel de potencia de su correspondiente PICH es comparado contra un umbral ajustado dinámicamente, denotado como T_3 , el cual es una función de la potencia total del PICH en el conjunto activo, similar a T_2 , lo cual asegura que cada esta-

ción base en el conjunto activo contribuye suficientemente al nivel de potencia global. Si cualquiera de los niveles de potencia de los canales piloto cayera por debajo de T_3 , después de un periodo de tiempo específico, permite eliminar cualquier incertidumbre debido al desvanecimiento (que puede ser causado por fluctuaciones en el nivel de potencia), la estación base será movida nuevamente al conjunto candidato donde será comparada con el umbral estático T_3 . Al mismo tiempo, la estación móvil reportará a la red la identidad de la estación base con potencia baja para que ésta incremente su potencia de transmisión. Si el nivel de potencia cae por debajo del umbral estático, denotado como T_4 , entonces la estación móvil reportará nuevamente esto a la red y la estación base es, posteriormente, dada de baja del conjunto candidato. Finalmente, los handovers duros pueden ser soportados entre las células teniendo diferentes portadoras de frecuencia.

7.9 SERVICIOS DE DATOS CDMA2000

7.9.1 Servicios de Datos de Alta Velocidad IS-95B

Los servicios de alta velocidad se suministran por medio de incremento de códigos: durante una “ráfaga de datos” se pueden asignar más de ocho códigos por paquete de datos de alta velocidad. Un paquete de datos activo de alta velocidad siempre tiene el canal de codificación fundamental. Cuando se requieren tasas de datos mayores, se le pueden asignar al móvil más de siete canales de codificación suplementarios. Al periodo de mayor velocidad de operación se le conoce como “ráfaga de datos”. A continuación se mencionan algunas características mejoradas de IS-95B que habilitan al servicio de Datos de Alta Velocidad (HSD):

- **Canales de codificación directa (forward):** Al usuario de tasa alta se le puede asignar más de 8 códigos Walsh (un código Walsh por cada canal de codificación) durante una ráfaga de datos.
- **Canales de codificación inversa (reverse):** A cada canal suplementario inverso se le asigna una diferente máscara de secuencia de pseudo ruido (PN) derivada su máscara de sucesión fundamental.
- **Control de potencia:** El control de potencia de los canales de codificación suplementarios se deriva del canal de codificación fundamental. Esto es, no existe un lazo de control de potencia independiente para los canales de codificación suplementarios.
- **Tasas de codificación permitidas:** Durante una ráfaga de datos todos los canales de codificación se transmiten a las máximas tasas; no se permiten tasas parciales.

7.9.2 Tasas de Datos que Ofrece IS-95B

Debido a que aun usuario se le pueden asignar simultáneamente más de ocho canales de codificación directa o inversa, y cada canal de codificación opera a 9.6 Kb/s utilizando la Tasa Fija 1 (RS1) ó 14.4 Kb/s para RS2, las tasas de datos ofrecidas por IS-95B son:

- 9.6 - 76.8 Kbps en RS1
- 14.4 - 115.2 Kbps en RS2

7.9.3 Mejorías de la Capa Física cdma2000

Como ya se mencionó, IS-95B ofrece altas tasas de datos por medio de la adición de códigos. En cdma2000, se alcanza mayores tasas de datos por medio de la reducción del *esparcimiento*, o mediante múltiples canales de codificación. Adicionalmente, existe una serie de características mejoradas de la capa física cdma2000 que facilitan la implementación de avanzados servicios de datos con mayores tasas y mejorada capacidad. La tabla 7.18 compara las características de la capa física de IS-95 y cdma2000.

Tabla 7.18: Características de la capa física de IS-95 y cdma2000.

Característica	IS-95	Cdma2000
Ancho de banda de canal [MHz]	1.25	1.25/ 5/ 10/ 15/ 20
Tasa de chip [Mcps]	1.2288	1.2288/ 3.6864/ 7.7328/ 11.0592/ 14.7456
Tasa de datos de un usuario [Kbps]	9.6 - 115.2	9.6 K - 2.4 M
Canales de codificación Suplementarios (SCC)	0 - 7 SCCs	0 - 1 SCC por servicio
Longitud de trama [ms]	20	20 (con opción de 5 ms)
Modulación	BPSK modulación con esparcimiento por cuadratura	QPSK modulación con esparcimiento por cuadratura
Canal piloto basado en detección coherente	Enlace de bajada: si Enlace de subida: no	Enlace de bajada: si Enlace de subida: si
Codificación de canal	Código convolucional K - 9, tasa 3/4, 1/2, 1/3	Código convolucional K - 9, tasa 1/3, y 1/4
Canal de control dedicado	No	Si
Control de potencia rápido en el enlace de bajada	No	Si
Diversidad transmitida en el enlace de bajada	No	Si
Uso de Turbo Códigos	No	Si

Las características más importantes son las siguientes:

- **Ancho de banda:** Un ancho de banda mayor a 5 MHz ofrece una ganancia de multiplexaje estadísticamente mayor entre múltiples usuarios, así como una mayor tasa de datos para un usuario.
- **Canal de codificación suplementario (SCC):** Cada SCC soporta un amplio rango de tasas de datos (9.6 Kbps - 2 Mbps). En cdma2000, se asigna un SCC por cada servicio de datos. Mientras, se utilizan diversos SCCs para soportar múltiples flujos de datos con diferentes requerimientos QoS (tales como servicios de paquetes y circuitos de datos). En IS-95B, a una unidad móvil con alta tasa de datos se le asignan más de siete SCCs, cada uno corriendo a 9.6 ó 14.4 Kbps.
- **Canal piloto basado en detección coherente:** La incorporación de un canal piloto en el enlace de subida ofrece un significativo desempeño de ganancia al proveer una referencia de fase coherente para una demodulación coherente en la estación base (BS). Esto también disminuye el retardo en el lazo de control de potencia.
- **Control de potencia rápido directo:** Esta característica en el enlace de bajada provee una importante mejora en el ambiente de baja movilidad (donde la mayor parte de las aplicaciones de alta velocidad ocurren). En IS-95B, solo el enlace de subida utiliza control de potencia rápido para combatir el problema cercanía/lejanía (*near/far*).

- **Diversidad transmitida en el enlace de bajada:** En cdma2000 se especifican dos formas de esparcimiento para el enlace de bajada: de portadora múltiple y secuencia directa. En la opción de portadora múltiple con portadoras $N \times 1.25$ MHz, donde ($N = 3, 6, 9, 12$), las diferentes portadoras se pueden transmitir en antenas parcialmente separadas, lo cual incrementa la efectividad de la diversidad de frecuencia y mejora el desempeño del enlace sin aumentar la complejidad en el receptor móvil.
- **Turbo códigos:** Los turbo códigos se pueden usar en lugar de los códigos convolucionales a mayores tasas de datos para minimizar el valor de E_b/N_0 en el receptor, resultando un sistema con mayor capacidad.
- **Canal piloto auxiliar:** En el enlace de bajada, se pueden suministrar canales piloto adicionales a un solo móvil o a un grupo de móviles que se encuentren dentro de un haz angosto. Esto es de particular interés en sistemas que emplean antenas inteligentes y aplicaciones de lazo local inalámbrico.

7.9.4 Tasas de Datos que Soporta Cdma2000

La tabla 7.19 muestra las tasas de datos para un usuario que soporta la capa física cdma2000 a diferentes anchos de banda de canal (dado por $N \times 1.25$ MHz, donde N es el número de portadoras). Esta amplia gama de tasas de datos soporta varias aplicaciones que van desde voz y datos de baja velocidad, hasta acceso de paquetes de datos de alta velocidad y circuitos de datos. Así mismo, cdma2000 ofrece una interfaz de aire muy flexible que soporta una amplia gama de ambientes de operación. Finalmente, cdma2000 reúne y excede los requerimientos de IMT-2000 para tasas de datos en diferentes ambientes de operación:

- Interiores a 2 Mbps
- Interiores a Exteriores / Peatonal a 144 – 384 Kbps
- Vehicular a 144 Kbps

Tabla 7.19: Tasas de datos soportadas por cdma2000 para un usuario.

Ancho de banda canal [MHz]	Tasa de datos directa [Kbps]	Tasa de datos inversa [Kbps]
1 x 1.25	9.6 - 307	9.6 - 307
3 x 1.25	9.6 - 1037	9.6 - 1037
6 x 1.25	9.6 - 2074	9.6 - 2074
9 x 1.25	9.6 - 2458	9.6 - 2074
12 x 1.25	9.6 - 2458	9.6 - 2074

7.9.5 Tasas de Datos Dinámicas Cdma2000 (ráfaga de datos)

La asignación estática de una tasa de datos de alta velocidad a un número pequeño de usuarios, puede resultar en un ineficiente uso de la capacidad de la interfaz de aire. La asignación dinámica de los recursos, basado en la adición de carga e interferencia, hace posible que el mismo ancho de banda sea utilizado entre varios usuarios de paquetes de datos de alta velocidad de manera eficiente y sin impactar la calidad del servicio. En otras palabras, a usuarios con datos de alta velocidad se les puede asignar breves ráfagas de altas tasas de datos dependiendo de las condiciones actuales de interferencia, carga, y condiciones de pérdidas de trayectoria. Las características generales de este modo de transferencia de datos, *ráfagas de datos*, son:

- En un principio, a un móvil activo se le asigna un canal de código fundamental. Los parámetros para

servicios de altas tasas de datos son negociados en este momento. Posteriormente, el móvil cambia a un modo de reposo, si es que no tiene datos que transmitir. Cuando un móvil está en reposo por corto tiempo, se pueden mantener canales de tasa baja para sincronización y control de potencia. Además, de los servicios asignados al canal como de canal dedicado de señalización para peticiones y de asignación de ráfagas de alta tasa de datos, la asignación de mayores tasas de datos se define a partir de la demanda a través de una negociación entre el móvil y la infraestructura.

- En el enlace de subida, el móvil puede hacer una petición de una transmisión de ráfaga de datos a altas tasas indicando a la BS los atrasos de datos y la máxima tasa de datos solicitada. Además, para ayudarle a la BS a tomar la decisión si esta petición puede ser aceptada sin afectar la calidad de servicio de otros usuarios, el móvil incluye la información de la energía del canal piloto para las células vecinas dentro de la petición de acceso. Esta información recibida del móvil, le indica a la estación base los niveles de interferencia que se verán en esa BS y en sus vecinas debido a las transmisiones del móvil.
- De igual manera, en las ráfagas transmitidas en el enlace de bajada la BS puede solicitarle al móvil que mande las mediciones de la energía del canal piloto antes de la asignación de la ráfaga. La red puede utilizar estas medidas para determinar la interferencia vista en el móvil, y aprovechar pequeñas cargas en las células vecinas.
- Una vez que la estación base ha recibido la ráfaga de petición, la red debe coordinar el acceso de otras ráfagas de petición, así como, la carga de voz ya ofrecida al sistema.

7.9.6 Servicio de Paquetes de Datos en la Capa MAC IS-95B

En IS-95B, se define una nueva opción de servicio llamado *servicio de paquetes de datos de alta velocidad*. Este servicio se establece entre el móvil y el IWF (*Interworking Function*) cuando el móvil solicita un servicio por paquetes de alta tasa de datos. Durante el procedimiento de negociación del servicio, el móvil debe especificar a la estación base (BS/MSC) su capacidad de datos de alta velocidad, es decir, el número de canales de código en los canales directos e inversos. Posteriormente, la estación base especifica el máximo número de códigos en los canales directos e inversos que puede proporcionar al móvil. El servicio por paquetes de altas tasas de datos solo se puede otorgar cuando la opción del servicio está conectada. De una manera simplificada, podemos reducir los servicios de la capa MAC en solamente dos estados:

1. **Activo:** En este estado se le asigna al móvil un canal de tráfico, y una capa de enlace y un protocolo punto a punto (*PPP*) establecen una conexión entre IWF y el móvil.
2. **Inactivo:** En este estado no se le asignan canales de tráfico a la llamada.

Los datos del usuario sólo se pueden transmitir en el estado activo. Sin embargo, si se espera que haya unas ráfagas de datos con periodos de inactividad, el usuario puede permanecer en el estado activo por corto tiempo después de que una transmisión (ráfaga de datos) haya sido terminada, para minimizar el tiempo de acceso en la próxima ráfaga de datos. Un cronómetro de inactividad ayuda a conservar los recursos de la interfaz de aire y de otra red. Si este cronómetro expira, se considera al usuario en el estado de inactivo. En este estado, no hay recursos RF o del sistema designados al usuario. Finalmente, el móvil cambia al modo activo si se recibe tráfico de paquetes de datos por parte del usuario.

7.9.7 Servicio de Paquete de Datos en la Capa MAC Cdma2000

Las funciones MAC de paquetes de datos para IS-95 tienen solo dos estados, *activo e inactivo*, como se des-

cribió anteriormente. Este sencillo método trabaja bien para bastantes servicios de baja velocidad de datos con, relativamente, baja ocupación en cualquier usuario dado. Sin embargo, éste modelo MAC es insuficiente para cubrir las necesidades de servicios de muy alta velocidad de datos requeridos para sistemas de tercera generación. Esto se debe a la excesiva interferencia causada por los usuarios inactivos en el estado activo, y al tiempo relativamente largo empleado para la transición del estado inactivo al activo.

Para cubrir estas demandas, el sistema cdma2000 incorpora un sofisticado mecanismo MAC que incluye dos estados intermedios entre los estados activo e inactivo de IS-95 (ver figura 7.20).

1. **Sostenimiento de control:** En este estado, se mantiene un canal de control dedicado entre el usuario y la BS, en que se pueden transmitir comandos de control (por ejemplo: el inicio de una ráfaga de datos de alta velocidad) sin interrupciones virtuales. Asimismo se mantiene un control de potencia tal que una operación de ráfaga de datos de alta velocidad puede iniciarse sin retardo debido a la estabilización del control de potencia.
2. **Estado suspendido:** En este estado, no se asignan canales dedicados hacia o desde el usuario; sin embargo, se mantiene un estado de información para el "Protocolo de Enlace de Radio" (RLP, Radio Link Protocol), y tanto la estación base como el usuario mantienen un "conjunto virtualmente activo", el cual permite de igual manera al usuario ó a la estación base conocer qué BS es la óptima para el tráfico de paquetes de datos. Este estado también soporta un subestado ranurado que permite al dispositivo del usuario mantener su potencia de un modo eficientemente alto.

Adicionalmente, cdma2000 anexa al estado inactivo un modo corto de ráfaga de datos para soportar la entrega de mensajes cortos sin incurrir en la transición del estado inactivo al activo.

La transición entre los estados MAC pueden coordinarse por medio de señalizaciones de control MAC o por expirar los cronómetros. Cdma2000 puede otorgar una gran variedad de servicios de datos en diversos ambientes de operación siempre que se elija adecuadamente los valores de los cronómetros antes mencionados.

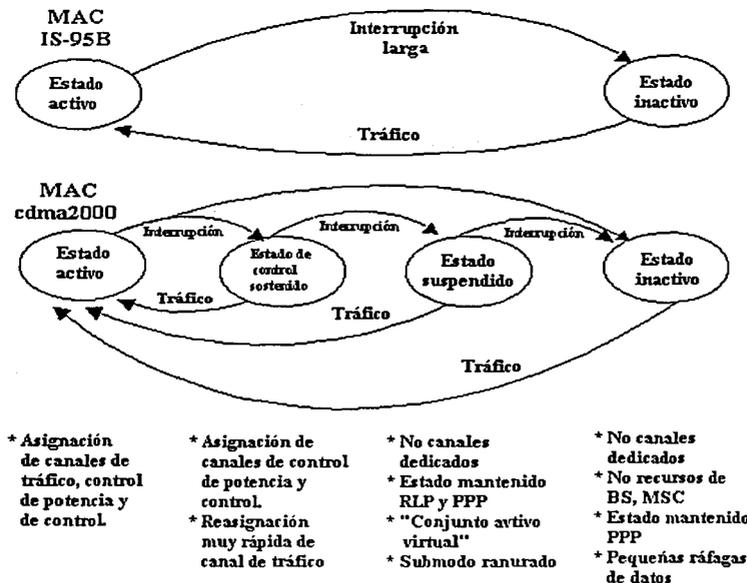


Figura 7.20: Comparación entre las capas MAC de los sistemas IS-95 y cdma2000.

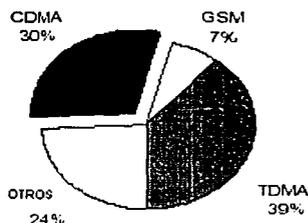
CAPÍTULO 8

Estado de Implementación de CDMA2000 alrededor del Mundo y en México

8.1 IMPLEMENTACIÓN EN EL MUNDO

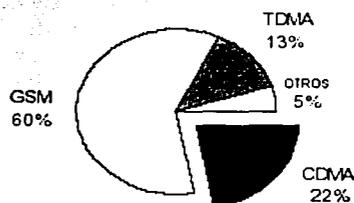
8.1.1 Posible Mercado Mundial de Cdma2000

En las siguientes figuras se da un panorama general del posible crecimiento del mercado de los sistemas digitales (figura 8.1) y de los países en donde se puede implementar los sistemas cdma2000 (figuras 8.2 y 8.3).



Mercado americano: suscriptores junio 2001

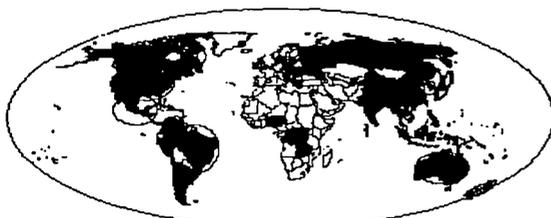
CDMA abarca el 30% del mercado, mientras que GSM solo el 7%



Mercado mundial: suscriptores hacia 2005

CDMA2000 abarcaría el 22% del mercado inalámbrico en el mundo

Figura 8.1: Crecimiento del mercado mundial Cdma2000.



- Países con redes comerciales CDMA
- Países con redes cdma2000, planes o pruebas.

- Los países capaces de desarrollar sistemas cdma2000 sobre las redes existentes cdmaOne representan alrededor de 4.18 billones de usuarios.
- Los países que anuncian desarrollos en cdma2000 representan 823.1 millones de usuarios.

Figura 8.2: Países en donde se pueden desarrollar los sistemas cdma2000.

- Los países con concesiones UMTS presentan solo 607 millones de usuarios.
J-WCDMA= 175 millones
 (Japón, Corea)
UMTS= 432 millones
 (Europa Occidental/Asia)



□ Países con concesión de espectro UMTS a 2.1 GHz

Fuente: CIA World Factbook, EMC Work Cellular Database Junio 20001, CDG 20001, Public Announcement

Figura 8.2: Países en donde se pueden desarrollar los sistemas cdma2000. (continuación)



Países que pueden desarrollar el sistema Europeo WCDMA*
 *Que no han utilizado la banda 1900 MHz necesaria para WCDMA

Países que pueden desarrollar CDMA2000 en el espectro existente
 Fuente: EMC World Cellular Database, 2001

Figura 8.3: Países de América en donde se puede implementar los sistemas cdma2000 y WCDMA.

8.1.2 Migración de Diversas Tecnologías hacia Cdma2000

Diversos operadores pueden emigrar a cdma2000 como camino hacia 3g (ver figura 8.4):

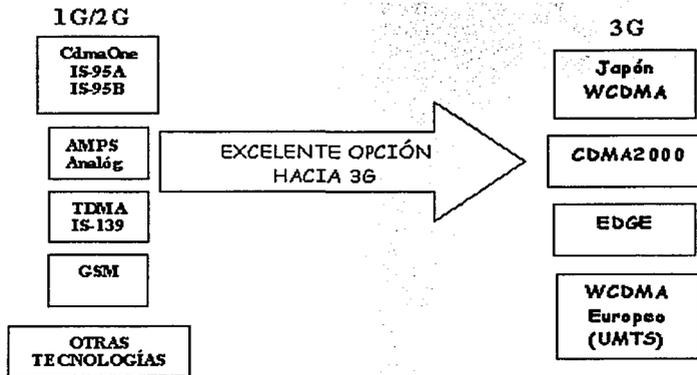


Figura 8.4: Migración hacia Tercera Generación.

Como podemos observar la arquitectura de un sistema cdma2000 (figura 8.5) es bastante sencilla:

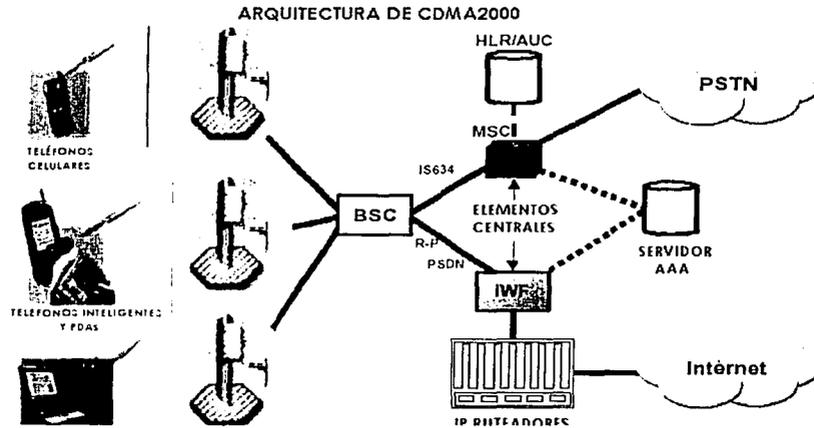


Figura 8.5: Arquitectura del sistema CDMA2000.

Mientras que un sistema TDMA/GSM/GPRS/EDGE/WCDMA requiere de redes paralelas (figura 8.6).

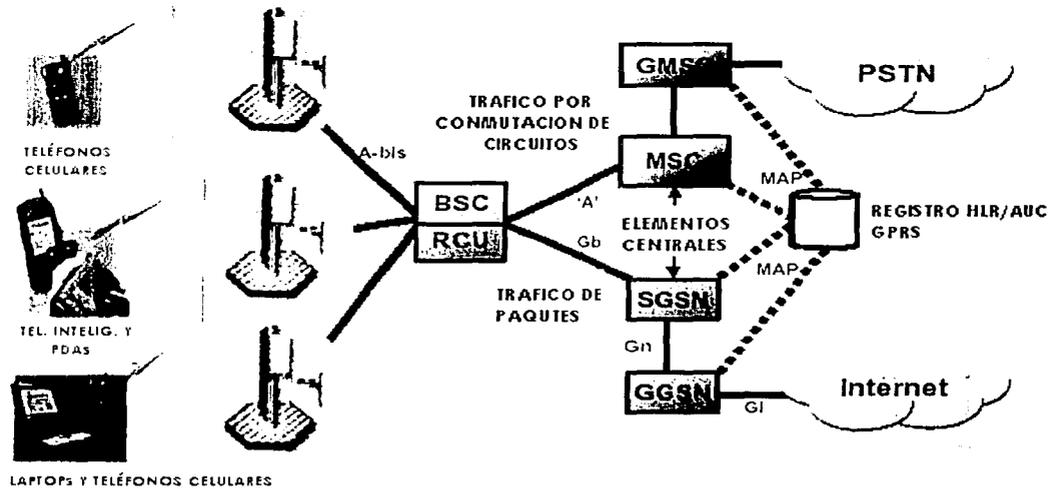


Figura 8.6: Esquema de Redes Paralelas.

8.1.2.1 De cdmaOne hacia CDMA2000

El camino de migración de cdmaOne hacia CDMA2000 1X es una propuesta bastante lógica, como se muestra en el siguiente esquema (figura 8.7):

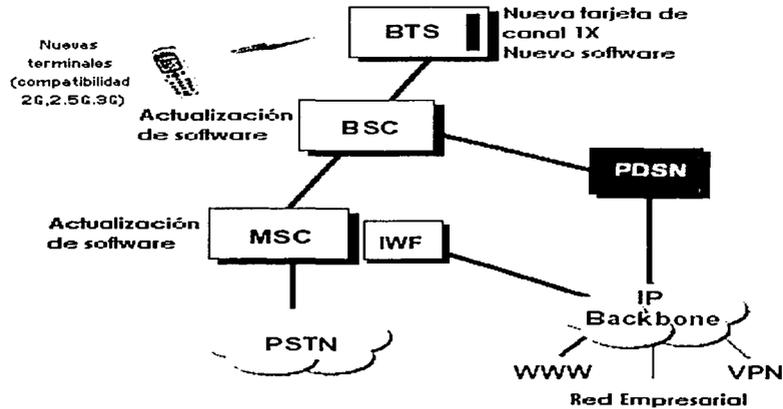


Figura 8.7: Esquema de pasos para emigrar de cdmaOne hacia CDMA2000.

Por otro lado, el esfuerzo realizado para emigrar de cdmaOne a CDMA2000 es bastante modesto:

		2G cdmaOne (95A)	2.5G cdmaOne (95B)	3G CDMA2000
Handset	Software	Interfase de usuario	[Cambio de chipset]	[Cambio de chipset]
		Protocolo		
Estación Base	Hardware	RF	[Cambio de chipset]	[Cambio de chipset]
		Banda base		
		Pruebas y manufacturación RF		
Red		Tarjetas de canal	[Cambio de chipset]	[Cambio de chipset]
		Software		
		Células		
		Compatibilidad		[Cambio de chipset]

Los operadores TDMA y AMPS conservan el mismo núcleo de red que los operadores cdmaOne.	Generación Independiente [Cambio de chipset]
	Actualización [Cambio de chipset]
	Cambio de chipset [Cambio de chipset]
	Nuevo equipo [Cambio de chipset]

Figura 8.9: Cambio tecnológico para la migración de cdmaOne hacia CDMA2000.

8.1.2.2 De AMPS hacia CDMA2000

El camino de AMPS hacia CDMA2000 (ver figura 8.10) tiene las siguientes ventajas:

- Reuso de la red núcleo
- Capacidad de desarrollar 3G en solo una pequeña parte del espectro.

- Capacidad de desarrollar los sistemas 3G dentro de las bandas existentes, sin la necesidad de adquirir nuevo espectro.
- Requiere de protocolos de interfases separados.

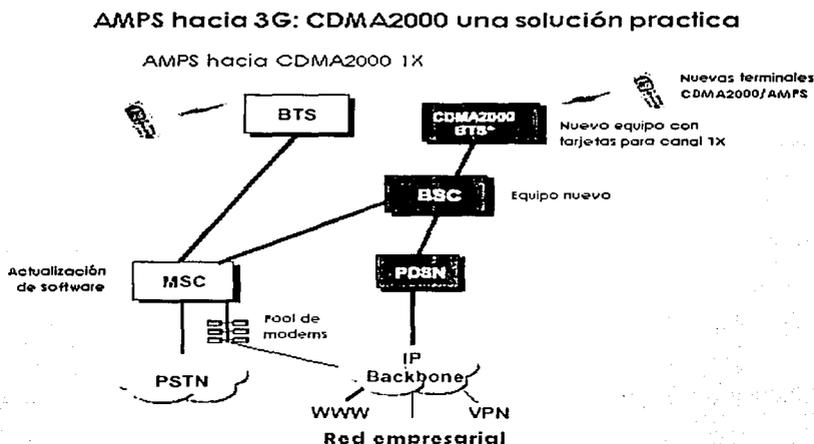


Figura 8.10: Esquema de pasos para emigrar de AMPS hacia CDMA2000.

8.1.2.3 De TDMA hacia CDMA2000

CDMA2000 1X es la única tecnología disponible hoy en día que permite a los operadores TDMA saltar a IMT-2000 por medio de un solo paso de evolución dentro de su propio espectro, ya sea en espectro celular (800 MHz) o PCS (1900 MHz).

CDMA2000 1X incrementa la capacidad de red ofreciendo de cuatro a seis veces la capacidad de voz de una red TDMA. CDMA2000 1X puede ser desplegado en el espectro que usan actualmente los operadores TDMA y la cantidad de espectro necesaria para iniciar la emigración de un sistema TDMA a CDMA2000 es $2 \times 1.77 \text{ MHz}$ ¹. Adicionalmente, desde que las redes CDMA y TDMA utilizan la misma red fundamental basada en ANSI-41, los operadores TDMA pueden usar su actual equipo de conmutación y otros subsistemas y plataformas de servicio, eliminando la necesidad de una significativa inversión de capital y reduciendo los costos operativos. Otra economía en la migración TDMA a CDMA2000 es que la cobertura mejorada ofrecida por CDMA en comparación con TDMA permite a los operadores TDMA volver a usar estaciones de base existentes sin tener que desplegar estaciones de base adicionales para cubrir la misma área de servicio.

En las Américas y en Asia, la migración de TDMA a la tecnología CDMA2000 1X permite a los suscriptores cambiar de zona a través del extenso conjunto de redes cdmaOne que ya están operando en las bandas 800 MHz o 1900 MHz.

La migración de una red TDMA a CDMA2000 es sencilla. La figura 8.11 describe los pasos que un operador TDMA debe considerar para mejorar su red existente.

¹ Para desplegar un canal CDMA2000 1X se requiere 1.25 MHz para el canal transportista más dos bandas de protección de 260 kHz. Para desplegar un canal WCDMA se requiere por lo menos 5 MHz para el canal transportista, sin siquiera considerar las bandas protectoras necesarias. Si una trayectoria migratoria de TDMA a WCDMA incluye GSM, el operador necesitará dedicar 2.5 MHz adicionales de espectro para introducir el primer canal GSM.

TDMA HACIA 3G: CDMA2000 una solución practica

TDMA hacia CDMA2000 1X

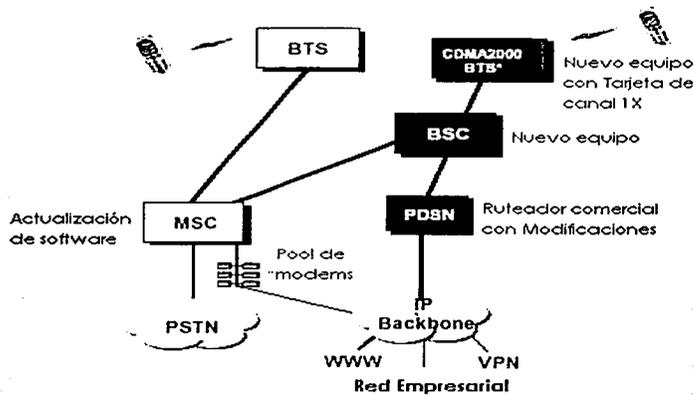


Figura 8.11: Esquema de pasos para emigrar de TDMA hacia CDMA2000.

* El nuevo equipo con tarjeta de canal CDMA2000 1X se instala generalmente en combinación con equipo TDMA y requiere protocolos independientes de interfaz. Los teléfonos son nuevos terminales CDMA2000 disponibles comercialmente.

8.1.2.4 De GSM hacia CDMA2000

La evolución de GSM a CDMA2000 es una atractiva evolución hacia 3G (ver figura 8.12), debido a que:

- Los operadores GSM necesitan de nuevo espectro para emigrar a UMTS, lo cual implica que algunos operadores GSM no tengan acceso a nuevo espectro UMTS.
- Los operadores GSM pueden usar CDMA2000 1X-MAP en el espectro existente: 1X-MAP puede utilizar la interfase de radio CDMA2000 para las redes GSM-MAP, lo cual le permite a los operadores GSM conservar la capacidad de roaming internacional. 1X-MAP es una estándar de la ITU, desarrollado por 3GPP2 con soporte de 3GPP.

Por otro lado, el esfuerzo de llevar a GSM hacia GPRS/WCDMA es bastante significativo como se muestra en la figura 8.13.

8.1.3 Despliegues IMT-2000 basados en Cdma2000

CDMA2000 1X es una de los cinco interfaces terrestres de radio IMT-2000 desarrollados por la UIT para IMT-2000. CDMA2000 1X fue diseñada con una filosofía de independencia de espectro para facilitar la migración de sistemas existentes en bandas de frecuencia celular, PCS, y NMT a IMT-2000 y servicios inalámbricos avanzados. Los sistemas CDMA2000 1X se están desplegando actualmente en las bandas de 450 MHz, 800 MHz, 1700 MHz y 1900 MHz.

GSM hacia 3G: CDMA2000 una solución práctica

Añadiendo CDMA2000 1X

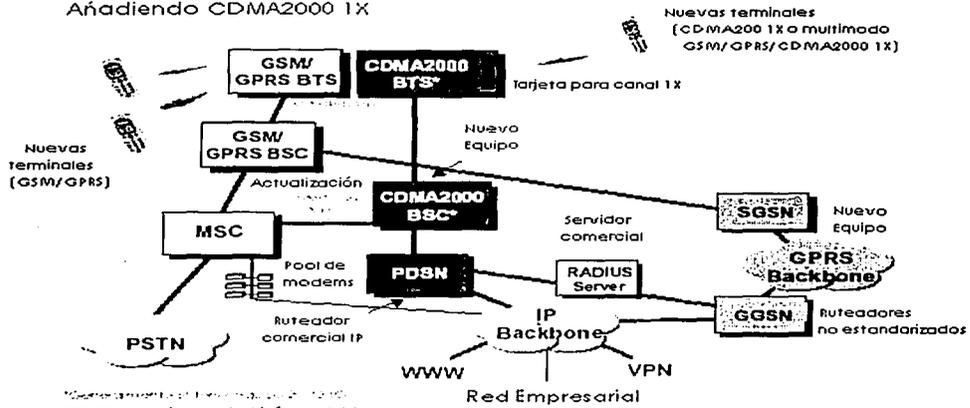


Figura 8.12: Esquema de pasos para emigrar de GSM hacia CDMA2000.

		2G GSM	2.5G GPRS	3G WCDMA
Handset	Software	Interfase de usuario		
	Protocolo RF			
Estación Base	Hardware	Banda base		
	Pruebas y manufacturación			
Red	RF			
	Tarjetas de canal Software			
	Células			
	Compatibilidad			

Generación Independiente: []
 Actualización: []
 Nuevo Equipo: []

Los operadores TDMA y analógicos que sigan el camino de migración GSM pagarán el precio de una fuerte inversión

Figura 8.13: Cambio tecnológico para emigrar de GSM hacia CDMA2000.

8.1.3.1 Despliegues recientes de sistemas IMT-2000 CDMA2000 1X en las Américas

El 12 de diciembre del 2001, Telesp Celular de Brasil, el operador móvil más grande en Brasil con 5 millones de suscriptores, introdujo servicios CDMA2000 1X, siendo el primer proveedor en Latinoamérica de servicios móviles en hacerlo. La red está siendo suministrada por Lucent Technologies y ofrece velocidades de transmisión de datos que son 10 veces más rápidas de lo que era posible anteriormente. El despliegue de CDMA2000 1X hace posible que Telesp ofrezca servicios móviles de Internet tales como correo electrónico inalámbrico, acceso a aplicaciones corporativas y mensajes en tiempo real. También en Brasil, Telefónica Celular de Brasil anunció re-

cientemente que espera ofrecer servicios CDMA2000 1X en Río de Janeiro y Espíritu Santo en el primer trimestre de este año.

Con respecto a otros desarrollos recientes, el 13 de diciembre del 2001, Centennial Puerto Rico y Lucent Technologies anunciaron la realización de la primera llamada inalámbrica IMT-2000 CDMA2000 1X en Puerto Rico. En Chile, el 26 de noviembre del 2001, Nortel Networks anunció su soporte a Smartcom PCS para realizar su primera llamada usando equipo CDMA2000 1X.

En Estados Unidos, el 28 de enero del 2002, Verizon Wireless lanzó CDMA2000 1X en los principales mercados de las costas este y oeste y en Salt Lake City, ciudad anfitriona de las Olimpiadas de Invierno 2002. Verizon Wireless, con cerca de 30 millones de suscriptores, es el mayor operador inalámbrico de EE.UU. y el primero que lanza comercialmente un importante sector 3G en Estados Unidos. En julio del 2002, Sprint lanzará comercialmente una red CDMA2000 1X de alcance nacional.

Dos operadores TDMA han decidido recientemente mejorar a sistemas CDMA2000 1X. Movilnet, el mayor operador TDMA en Venezuela, suscribió un contrato por US\$150 millones con Lucent Technologies para construir una red CDMA2000 1X que se espera que inicie operaciones comerciales en el primer semestre del 2002. En diciembre del 2001, U.S. Cellular, que actualmente opera con tecnología TDMA a cerca de dos terceras partes de sus 3 millones de clientes, ha anunciado que superpondrá sus actuales redes TDMA con CDMA2000 1X. Una razón clave para las decisiones de ambas compañías es la eficiencia espectral de CDMA2000.

8.1.3.2 Despliegues recientes de sistemas IMT-2000 CDMA2000 1X en otros lugares

El 7 de diciembre del 2001, Telemobil S.A. de Rumanía inició el servicio CDMA2000 1X en 30 ciudades y pueblos importantes de Rumanía y extenderá su cobertura a todo el país en el año 2003. Lucent Technologies suministró el equipo CDMA2000 1X a Telemobil en la banda 450 MHz y los terminales han sido suministrados por Hyundai y Synertek.

Los despliegues en las Américas y en Rumanía siguen al lanzamiento de CDMA2000 1X en octubre del 2000 en la República de Corea en las bandas PCS, el primer lanzamiento comercial IMT-2000 en el mundo. En la tabla 8.14 y figura 8.15 se destacan los despliegues CDMA2000 1X alrededor del mundo.

Tabla 8.14: IMT-2000 está ahora disponible comercialmente CDMA2000 1X.

País	Operador	Fecha Ensayo/ Lanzamiento CDMA2000
Australia	Telstra	Ensayo 3T 2000
Brasil	Global Telecom	Lanzamiento 1S 2002
Brasil	Telesp Celular	Comercial
Canadá	Bell Mobility	Lanzamiento 1T 2002
Canadá	Telus Mobility	Lanzamiento 1T 2002
Chile	SmartCom PCS	Lanzamiento 1T 2002
República Dominicana	Centennial Dominicana	Lanzamiento 1T 2002
India	Reliance Infocom Limited	Lanzamiento 2002
Jamaica	Centennial Digital Jamaica	Lanzamiento 3T 2002
Japón	KDDI	Lanzamiento 1S 2002
Corea	KT Freetel	Comercial
Corea	LG Telecom	Comercial
Corea	SK Telecom	Comercial
México	Pegaso PCS	Ensayo 2T 2002
Nueva Zelanda	Telecom Mobile Limited	Lanzamiento 1S 2002
Rumanía	Telemobil	Comercial
Tailandia	Hutchison-CAT	Lanzamiento 3T 2002
Ucrania	CST Invest Limited	Lanzamiento 1T 2002

8.1.3.2.1 Caso particular en Corea

En Octubre del 2000 salió al mercado el primer servicio comercial CDMA2000 1X que de manera exitosa ofreció servicios de datos de alta velocidad y multimedia móvil, debido a la creciente demanda de nuevos servicios de esta índole. Corea es el único país alrededor el mundo en comercializar con CDMA2000 1X tan pronto. SK Telecom es el primer proveedor de este servicio en Corea.

CDMA2000 1X ha tenido mucho éxito, al mes de diciembre del 2001 había más de tres millones y medio de suscriptores CDMA2000 1X y el Ministerio de Información y Comunicaciones de Corea informó que cerca de 700,000 suscriptores de servicios móviles migran a CDMA2000 1X por mes. Estos usuarios están descargando juegos, fotografías y otros datos a un promedio de 60-80 Kbps y, a una velocidad pico de 144 Kbps. Con las actualizaciones de software y terminales a principios de este año, las velocidades de transmisión de datos aumentarán de 144 Kbps a 307 Kbps. Los clientes CDMA2000 1X en Corea generan un promedio de 41% de mayores ingresos que los suscriptores de segunda generación y los operadores CDMA2000 1X de Corea informan un incremento de capacidad de 1.6 a 1.8 veces que los sistemas de segunda generación. Las redes enteramente CDMA2000 1X desde el comienzo, duplican la capacidad de las actuales redes 2G puesto que la eficiencia del espectro se optimiza con la utilización de la infraestructura y terminales 3G

Los factores claves del éxito de esta tecnología en Corea son principalmente cuatro:

1. Existe una política firme y basta para coordinar los desarrollos por parte de las autoridades y el gobierno. Por otro lado, existen 5 empresas que ofrecen servicios CDMA (El pionero SK Telecom, con 41.3% de los suscriptores, KT Freetel con 19.4%, Shinsegi con 13.5%, y KT M.com con 11.5% de los suscriptores), lo cual implica competitividad entre los operadores, que a su vez ofrece al usuario precios bajos y satisfacción con el servicio.
2. Las empresas que ofrecen el servicio se han preocupado por mantener en excelente estado sus redes ofreciendo servicio de calidad con nuevos avances en la tecnología cada día, con terminales ligeras y fáciles de usar a un costo modesto.
3. Los operadores del servicio mantienen una operación de red estable sin sufrir interrupciones en el servicio y con soporte técnico inmediato. Para lograr esto Corea incrementó el número de BTS con lo cual asegura la comunicación en todo momento y extiende el área de cobertura para que las llamadas se puedan realizar a todo lo largo del país. Adicionalmente, se instalaron repetidores dentro de las estaciones del metro y en los sótanos de los edificios para asegurar la cobertura.
4. Por último, la población coreana está sedienta de nueva tecnología y cualquier innovador servicio es reconocido y valorado, debido a que en este país se cuenta con un alto nivel económico y educativo.

Los coreanos están dispuestos al cambio ya que siguen trabajando en sus planes de migración del sistema CDMA2000 1X hacia sistemas futuros como son 1X-EV DO y 1X-EV DV, los cuales ofrecen mayores velocidades y servicios que el sistema actual. 1X-EV DO tiene una tasa de datos pico de 2.4 Mbps y 621 Kbps de tasa prometido, mientras que 1X-EV DV tiene una tasa de datos pico de 5.184 Kbps y promedio de 1.2 Mbps.

8.1.4 Grupos de Trabajo para la Implementación Mundial 3G

En virtud de que el desarrollo de los sistemas 3G han tomado singular importancia en el ámbito nacional, regional e internacional se han decidido crear diferentes grupos de trabajo:

- La Conferencia Mundial de Radiocomunicaciones (CMR) es el foro internacional de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT), en el cual se acuerda a nivel mundial la utilización de las frecuencias radioeléctricas y de las órbitas de los satélites geoestacionarios y las bandas de frecuencias atribuidas o proyectadas para los satélites no geoestacionarios. Se celebra cada dos años

con el fin de llegar a un acuerdo sobre los cambios de la utilización del espectro de frecuencias radioeléctricas y definir el marco de las futuras evoluciones tecnológicas.

- **El Grupo de Trabajo 8F de la UIT-R** es una organización internacional que se encarga de la normalización radioeléctrica de las IMT-2000, es decir, desarrolla el marco técnico regulatorio para armonizar los enfoques regionales y proporcionar una solución aceptada en todo el mundo, realizar estudios de compartición y coexistencia entre las diferentes bandas definidas por cada país para IMT-2000. Este grupo desarrolla pautas para ayudar a establecer una o varias recomendaciones del ITU-R que asistirán a las administraciones en la planificación general de las IMT-2000. El grupo 8F se ha reunido en 4 ocasiones: las primeras dos reuniones se llevaron a cabo en Caracas en agosto de 2000, su tercera reunión se llevó a cabo del 23 al 27 de octubre de 2000 en Ginebra Suiza y su cuarta reunión del 21 al 27 de febrero de 2001 en Rabat Marruecos, la cual contó con la asistencia de 250 participantes procedentes de 32 países. Se presentaron 90 contribuciones y se generaron 43 documentos de resultados. La próxima reunión del Grupo se celebrará del 27 de junio al 3 de julio en Estocolmo, Suecia.

8.1.4.1 Arreglos de frecuencias para sistemas IMT-2000 mundialmente

Existen hoy en día tres grandes regiones reconocidas por la UIT, la primera liderada por los países europeos y que incluye además el continente africano y parte del Medio Oriente, la Región 2 de las Américas, liderada por los Estados Unidos de Norteamérica y la Región 3, que comprende Asia y Oceanía cuyo liderazgo japonés se ha visto desafiado recientemente por China y los mayores países líderes del Sudeste Asiático.

En cada región la evolución en la atribución de frecuencias ha seguido cursos distintos, generalmente marcados por aplicaciones militares o desarrollos tecnológicos de las empresas líderes industriales de la zona.

8.1.4.1.1 Europa y Asia

Las regiones 1 y 3 están buscando las bandas de expansión que soportarán el crecimiento de sus sistemas UMTS que están iniciando su servicio comercial o iniciarán la operación comercial durante los años 2002 ó 2003, usando las bandas núcleo (1920-1980 MHz /2110-2170 MHz).

De acuerdo con los documentos de trabajo que han sido suministrados en las reuniones del Grupo de Trabajo 8F de la UIT-R es probable que estas regiones utilicen la banda de frecuencia 2500-2690 MHz como su banda de expansión, estas frecuencias podrán estar disponibles por el año 2008.

Por otro lado, los actuales sistemas de GSM que están usando las bandas de 900 MHz y 1800 MHz en las regiones 1 y 3 podrán ser modificados para ofrecer los servicios de IMT-2000, con dichos cambios, los actuales sistemas de GSM podrán continuar operando hasta los años 2015 al 2020.

Después de ese periodo de tiempo esos sistemas podrán liberar las frecuencias de 900 MHz y 1800 MHz que podrán ser usadas por nuevos sistemas de 3G o 4G, o para ampliar la capacidad de los sistemas de 3G que están siendo desplegados en estos días.

Se están llevando a cabo algunos estudios técnicos para ver bajo que condiciones los "sistemas GSM modificados" serán compatibles con los sistemas UMTS para proveer el SERVICIO ROAMING con la misma terminal.

8.1.4.1.2 América (Región 2)

Los países en la Región 2 están en busca de frecuencias que pueden ser usadas para iniciar la instalación de los nuevos sistemas de 3G, porque hay algunos países que no pueden usar las bandas "núcleo" para estos nuevos sistemas de 3G, debido a que parte de estas bandas "núcleo" fueron usadas para los servicios PCS. Así que, si estos países están deseosos de tener los nuevos sistemas de 3G, las bandas de frecuencia 1710-1850 MHz y 2500-2690 MHz de aquellas identificadas en la pasada CMR-2000, pueden ser las más adecua-

das para las Américas.

De acuerdo con el trabajo que ha sido desarrollado hasta este momento la banda de frecuencias 1710-1850 MHz fue seleccionada como la mejor opción para las Américas para instalar los nuevos sistemas de 3G. Si los países de la región deciden usar las frecuencias 1710-1770 MHz / 2110-2170 MHz será más fácil su evolución e integración de sus sistemas de 3G a todos los servicios en un contexto Mundial.

Por otro lado, los actuales sistemas Celulares y PCS que están usando las frecuencias en 800 MHz y 1900 MHz en las Américas y en algunos países de Asia, pueden también ser modificados para proporcionar los servicios de IMT-2000.

8.1.4.1.3 Posición de Estados Unidos de América ante IMT-2000

En Estados Unidos, dos de las bandas identificadas para los servicios de tercera generación (806-960 MHz y 1885-2025 MHz) están actualmente ocupadas en parte por proveedores de servicios inalámbricos de primera y segunda generación. Algunos de estos proveedores de servicios en Estados Unidos están considerando planes para desplegar, o están actualmente desplegando, servicios avanzados en estas bandas.

Por lo tanto, Estados Unidos mantiene un enfoque sobre dos flancos respecto al desarrollo de los servicios de tercera generación:

1. la identificación de espectro adicional para los servicios inalámbricos avanzados; y
2. una evolución dirigida por las fuerzas del mercado hacia sistemas más avanzados en el marco de las licencias y atribuciones existentes.

Estos dos enfoques se complementan, y permitirán al Gobierno de los Estados Unidos equilibrar las necesidades de la industria inalámbrica con otros mandatos y obligaciones en su marco general de gestión del espectro. En otras palabras, se anticipa que la introducción de IMT-2000 en EU se llevará a cabo en las mismas bandas usadas actualmente para celular y PCS. Esta medida inicial reduce las tensiones generadas y brinda la oportunidad de revisar las opciones para las bandas adicionales.

El 24 de septiembre de 2001, la Comisión Federal de Comunicaciones (FCC) expidió un reporte que especifica a la banda 2500-2690 MHz como banda adicional para la atribución móvil e inalámbrico terrestre fijo, incluyendo tercera generación y generaciones futuras de sistemas inalámbricos. La Administración Nacional de Telecomunicaciones e Información (NTIA), junto con el Departamento de Defensa, otras Entidades Ejecutivas y personal de la FCC, han estado trabajando en una valoración conjunta, de ciertas opciones y tiempos para obtener espectro adicional disponible para servicios comerciales inalámbricos avanzados. Específicamente, la valoración examina el uso potencial de las bandas 1710-1770 MHz y 2110-2170 MHz para este tipo de servicios. La banda 1770-1850 no forma parte de esta valoración.

8.1.4.2 La Comisión Interamericana de Telecomunicaciones

La CITELE adquiere su mandato y denominación actual en 1993. Principal foro en el hemisferio donde los gobiernos y el sector privado se reúnen para trabajar juntos y alcanzar objetivos comunes en materia de Telecomunicaciones. Conformada por los Estados Miembros de la OEA y los Miembros Asociados de cada uno de sus Comités Consultivos Permanentes (ver figura 8.16).

8.1.4.2.1 Actividades de la CITELE

- Coordinación y armonización de normas en telecomunicaciones en la región 2.
- Preparación de posturas comunes hacia otros foros mundiales e internacionales.
- Representación de la región en otros foros regionales y subregionales.
- Trabajo conjunto con otros organismos mundiales e internacionales.



Figura 8.16: Conformación de la CITEL.

8.1.4.2.2 Comité Consultivo Permanente III (CCP.III).

Órgano técnico asesor de la CITEL en materia de coordinación de normas, planificación, aprovechamiento y uso eficiente del espectro radioeléctrico y órbitas satelitales, así como los aspectos relacionados con la operación de los servicios de radiocomunicaciones en los Estados Miembros. Actualmente cuenta con más de 120 Miembros Asociados, quienes participan activamente en las discusiones y presentación de propuestas. Las contribuciones documentales e informativas de los Miembros Asociados son trascendentales para la realización de los trabajos del Comité.

8.1.4.2.3 Trabajos realizados por el CCP.III hacia la CMR-2000

El GT-CMR se encargó de la preparación de Propuestas Interamericanas (IAP) que serían presentadas en la Conferencia, incluyendo las relativas a IMT-2000.

Se consideró las siguientes bandas como posibles candidatas:

470 – 806 MHz	2290 – 2300 MHz
806 – 960 MHz	2300 – 2400 MHz
1429 – 1501 MHz	2520 – 2670 MHz*
1710 – 1885 MHz*	2700 – 2900 MHz

* bandas preferenciales

Se presentaron 5 IAP's relativas a dichos puntos. Entre éstas destaca la identificación de la banda 1710–1885 MHz a nivel mundial como espectro adicional para las aplicaciones móviles avanzadas en el contexto de las IMT-2000.

La banda 1710-1850 MHz tiene la ventaja de ser adyacente al espectro actualmente identificado para el IMT-2000, además de ser usada actualmente en algunas partes del mundo para los servicios de PCS, incrementando así la posibilidad de armonización con otras regiones.

8.1.4.2.4 Arreglos de frecuencias preferidos actualmente en la banda 1710 - 2200 MHz

El grupo UIT- 8F, durante su reunión del mes de octubre de 2001, determinó la existencia de 5 opciones preferidas (ver figura 8.17) para el apareamiento de los arreglos de frecuencias en la banda 1710 - 2200 MHz.

Cualquiera de estas 5 opciones pueden ser implementadas en un país o en una región de acuerdo con la disponibilidad y demanda del mercado, tomando en consideración los factores de coexistencia.

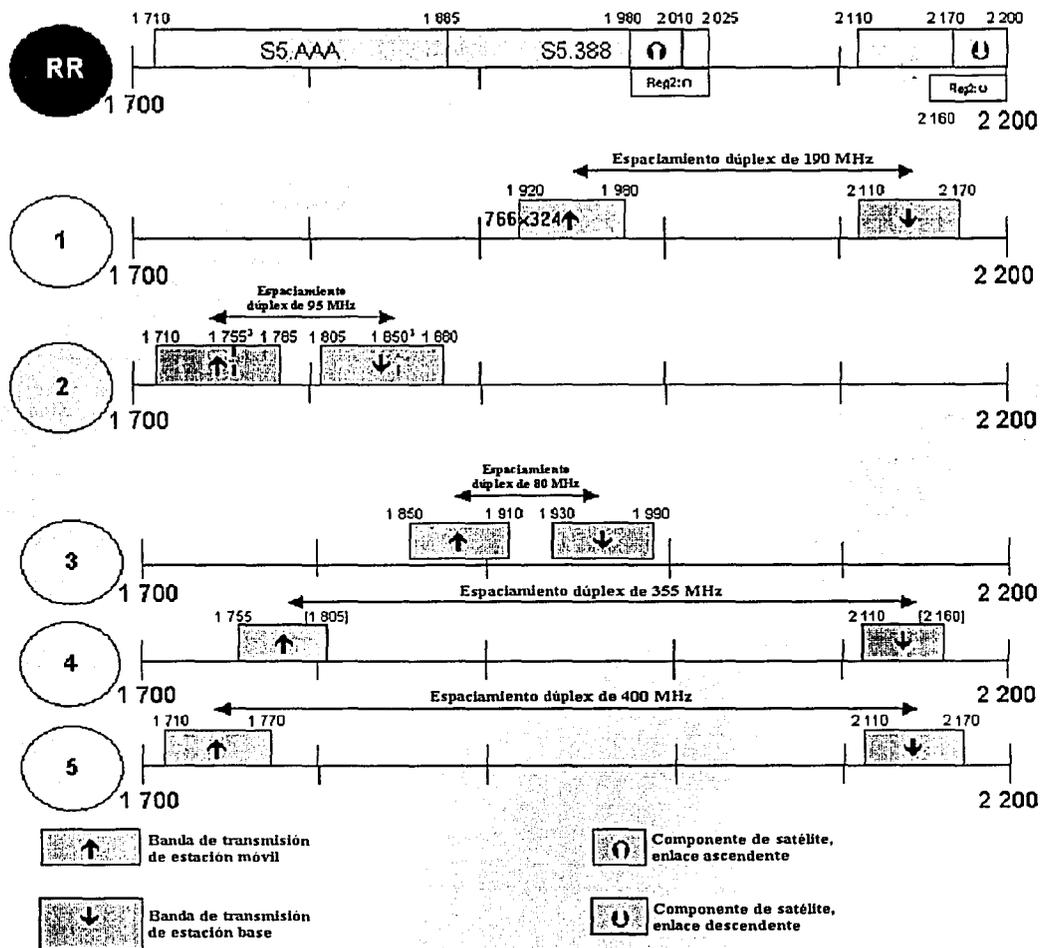


Figura 8.17: Opciones preferidas para el apareamiento de los arreglos de frecuencias en la banda de 1710 – 2200 MHz.

Se requieren estudios más profundos para visualizar el impacto de la implementación de la opción 4 ó 5, con respecto al roaming y soluciones técnicas tales como la asignación de separaciones de manera dúplex variable.

Finalmente, cualquier arreglo de frecuencias para las IMT-2000 debe de buscar satisfacer en todos los aspectos a los siguientes objetivos:

1. Permitir el Roaming Global o Mundial;
2. Maximizar el uso de todo el espectro identificado para las IMT-2000; y
3. Minimizar los costos de terminales

8.2 IMPLEMENTACION EN MÉXICO

8.2.1 Antecedentes de la Telefonía Celular en México

El año de 1989 marca el arranque de la radiotelefonía celular en México, mediante la implantación de sistemas inalámbricos de primera generación (1G) con la tecnología AMPS con acceso múltiple FDMA. Cabe mencionar que la introducción de este servicio en nuestro país se da en un contexto mundial de alto crecimiento y exitosas perspectivas de lucro del servicio.

El 6 de Noviembre de 1989 la SCT publicó la invitación para prestar el servicio público de radiotelefonía móvil con tecnología celular, mediante concesiones por término de 20 años. Con el fin de administrar la prestación de servicios inalámbricos el país se dividió en 9 regiones como se muestra en la tabla 8.18 y figura 8.19

Tabla 8.18: Regiones de México para la prestación del servicio celular.

Región	Entidad Federativa que comprende
1	Baja California*, Baja California Sur*, Sonora (San Luis Colorado)
2	Sinaloa*, Sonora (excepto el municipio: San Luis Colorado)
3	Chihuahua*, Durango*, Coahuila (Francisco I. Madero, Matamoros, San Pedro, Torreón, Biseca)
4	Nuevo León*, Tamaulipas*, Coahuila (excepto los incluidos en la Región 3)
5	Colima*, Michoacán*, Nayarit*, Jalisco (excepto los municipios de: Bolaños, Colotlán, Encarnación de Díaz, Huejuquilla, Lagos de Moreno, Mezquilitic, Ojuelos de Jalisco, Sta. María de los Angel, Teocaltiche, Villa Guerrero, Villa Hidalgo)
6	Aguascalientes*, Guanajuato*, Querétaro*, San Luis Potosí*, Zacatecas*, Jalisco
7	Guerrero*, Oaxaca*, Puebla*, Tlaxcala*, Veracruz*
8	Campeche*, Chiapas*, Quintana Roo*, Tabasco*, Yucatán*
9	Hidalgo*, Edo. de México*, Morelos*, Distrito Federal (todas sus delegaciones)

* Todos sus municipios



El territorio mexicano se divide en 9 regiones con el fin de administrar la prestación de servicios inalámbricos.

Figura 8.19: División en regiones del territorio mexicano.

sido ampliamente probadas en otros países y se tenía un buen estimador de la demanda que podría ser esperada. En los pocos años que han transcurrido desde entonces, la aceptación ha sido extraordinaria.

Plan de Frecuencias para PCS

Bloque	Sub-banda (Tx móvil)	Sub-banda (Tx base)
A	1850-1865 MHz	1930-1945 MHz
B	1870-1885 MHz	1950-1965 MHz
C	1895-1910 MHz	1975-1990 MHz
D	1865-1870 MHz	1945-1950 MHz
E	1885-1890 MHz	1965-1970 MHz
F	1890-1895 MHz	1970-1975 MHz

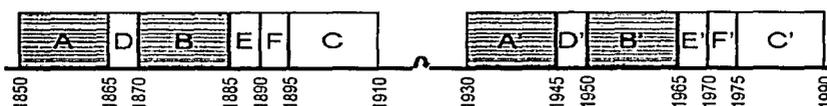
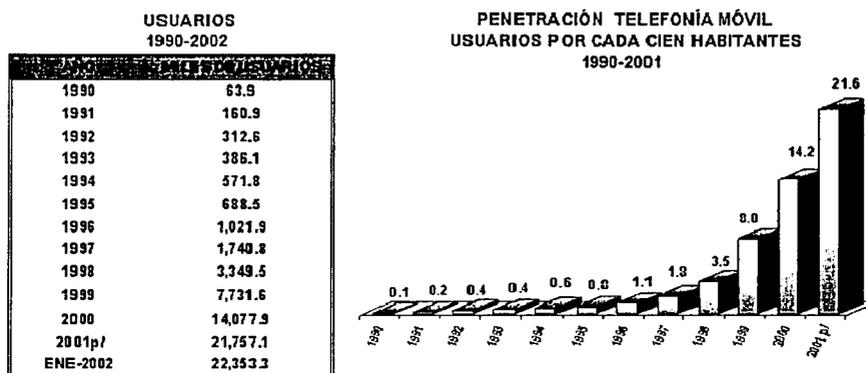


Figura 8.21: Plan de frecuencias para PCS.

Tabla 8.22: Resultados de la subasta realizada por la COFETEL.

REGIÓN	BANDAS SUBASTADAS Y POSTURAS (MILES DE PESOS)			
	A (30 MHz)	B (30 MHz)	D (10 MHz)	E (10 MHz)
1	UNEFON 161,544	PEGASO/QUALCOMM 162,523	TELCEL 152,400	IUSACELL 137,870
2	UNEFON 29,560	PEGASO/QUALCOMM 31,642	TELCEL 15,000	MIDICELL 14,870
3	UNEFON 101,656	Desierta* 0	TELCEL 70,100	PEGASO/QUALCOMM 70,000
4	UNEFON 616,877	PEGASO/QUALCOMM 588,488	TELCEL 363,300	IUSACELL 355,251
5	UNEFON 20,397	GPO. HERMES 20,160	TELCEL 6,300	PEGASO/QUALCOMM 6,400
6	UNEFON 289,669	PEGASO/QUALCOMM 286,811	TELCEL 89,650	MIDICELL 81,077
7	UNEFON 70,876	MIDICELL 75,941	TELCEL 82,800	PEGASO/QUALCOMM 82,121
8	UNEFON 9,000	Desierta* 0	TELCEL 6,800	PEGASO/QUALCOMM 6,700
9	UNEFON 892,500	PEGASO/QUALCOMM 941,506	TELCEL 485,100	MIDICELL 479,160
TOTALES	2,192,079	2,107,071	1,271,450	1,233,449
			TOTAL SUBASTA	6,804,049

A finales de 1992, el número aproximado de suscriptores al servicio, sumando ambos operadores de cada región, era de 314,000. Entre enero de 1999 y diciembre de 2000, el crecimiento fue significativo, el número de usuarios se cuadruplicó de 3.5 millones a 14 millones. De tal manera que de 1999 a 2000, el número de usuarios se incrementó en un 89 %, gracias a los sistemas de prepago, la reducción en términos reales de las tarifas, la aceptación positiva de los usuarios y la modalidad conocida como “el que llama paga”. Cifras preliminares de la COFETEL indican que al 31 de marzo de 2001 el número de usuarios se ubicó cerca de los 15.5 millones. En diciembre de 2001 esta cifra alcanzó los 18.5 millones de usuarios, y para el año 2004 se calcula un total de 33.4 millones de abonados (ver figura 8.23).



p: Cifras preliminares a partir de la fecha que se indica.
 Nota: A partir de 1999, incluye a nuevos concesionarios de PCS.
 La cifra de penetración telefónica se actualiza en forma semestral.
 FUENTE: Dirección General de Tarifas e Integración Estadística, COFETEL con información proporcionada

Figura 8.23: Tasa de crecimiento del número de suscriptores al servicio de telefonía celular.

Con las cifras anteriores podemos observar que la telefonía celular de ser un servicio elitista, se convirtió en un servicio más accesible para millones de mexicanos. Es importante hacer notar que el crecimiento explosivo del número de usuarios a partir de la aplicación del esquema tarifario “el que llama paga” ha impactado el mercado.

Así mismo el crecimiento de uso de Internet en México (ver figura 8.24) ha sido exponencial, que desde sus inicios comerciales cerca del año 1994 hasta nuestros días ha aumentado de manera paralela a la telefonía celular. Esto nos lleva a la reflexión de que ambos servicios han sido bien aceptados en nuestro país, lo cual nos permite imaginar que los servicios de 3G serán bien acogidos en nuestro país, ya que como lo hemos comentado a lo largo de esta tesis, los servicios 3G representan acceso de voz, datos y multimedia en todo momento y en todo lugar.

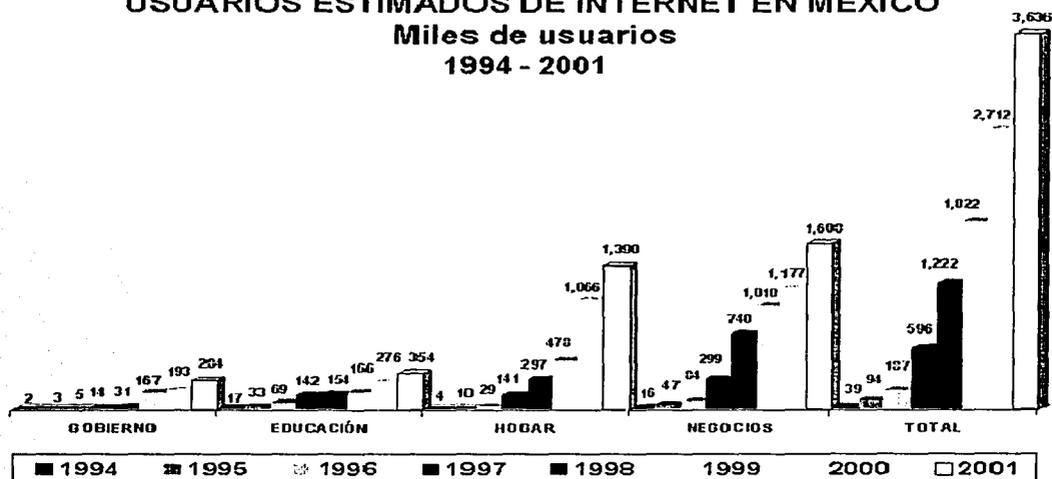
8.2.1.3 Operadores de telefonía celular en México

8.2.1.3.1 TELCEL

Existen varios operadores de telefonía celular en México siendo el principal operador Telcel (antes conocida como Radiomóvil Dipsa S.A. de C.V.), la subsidiaria de Teléfonos de México. Telcel lanzó su red analógica AMPS en 1989 y en 1998 introduce su infraestructura con equipo digital TDMA. Telcel obtuvo el bloque D en la banda de 1900 MHz a nivel nacional. Esta compañía desplegó su red analógica hacia la nueva banda de 1900 MHz, expandiendo al mismo tiempo su red celular en 800 MHz en una infraestructura común basada

en TDMA/IS-136. Esta se considera la primera tecnología comercialmente disponible que trabaja en banda dual (800 MHz y 1900 MHz) y modo dual (análogo y digital) de manera totalmente integrada.

USUARIOS ESTIMADOS DE INTERNET EN MÉXICO Miles de usuarios 1994 - 2001



FUENTE: FUENTE: Dirección General de Tarifas e Integración Estadística, COFETEL, con base en información de SELECT-IDC.

Figura 8.24: Crecimiento en el número de usuarios de Internet en México.

El IS-136 está diseñado para coexistir con el AMPS y divide cada uno de sus canales de 30 kHz en tres canales, triplicando la capacidad de los sistemas AMPS instalados. Actualmente, Telcel esta en el proceso de instalación de una red GSM/GPRS para evolucionar a 3G. Finalmente, Telcel sigue dominando el mercado con el 70 % del total de abonados y una cobertura nacional superior a la de sus competidores.

8.2.1.3.2 TELEFÓNICA MÓVILES

Desde marzo del 2001, ésta empresa unificó las compañías de *Cedotel*, *Norcel*, *Movitel* y *Baja Celular*, empresas mexicanas que ahora tienen la denominación de "*Telefónica Móviles de México*", que actuará como filial del Grupo Telefónica Móviles para el mercado mexicano. Telefónica Móviles aspira a convertirse en uno de los cinco mayores operadores globales, ya que es líder en los mercados de España y Latinoamérica, y lleva a cabo una estrategia de expansión selectiva en Europa y la cuenca Mediterránea.

8.2.1.3.3 UISACELL

Es el segundo proveedor de telefonía celular en nuestro país, cuenta con servicios digitales y analógicos. Además, cuenta con licencias en la banda A en las 4 regiones centrales. En 1989 procede con un servicio AMPS y en 1998 empieza a comercializar el servicio digital CDMA. En este mismo año, ante la aceptación del mercado, decide extender sus redes analógicas a digitales. Posteriormente, en febrero de 1999 firma un contrato con la empresa LUCENT para la instalación de la red CDMA en dos franquicias del norte. Adicionalmente cuenta con concesiones para proveer servicios PCS en las regiones 1 y 4 del norte de México. En Octubre del 2001 Iusacell concluyó exitosamente la adquisición del *Grupo Portatel S.A. de C.V.*, el proveedor de telefonía celular en la banda A en el sureste de México, que introduce en 1990 su primera red AMPS.

8.2.1.3.4 PEGASO

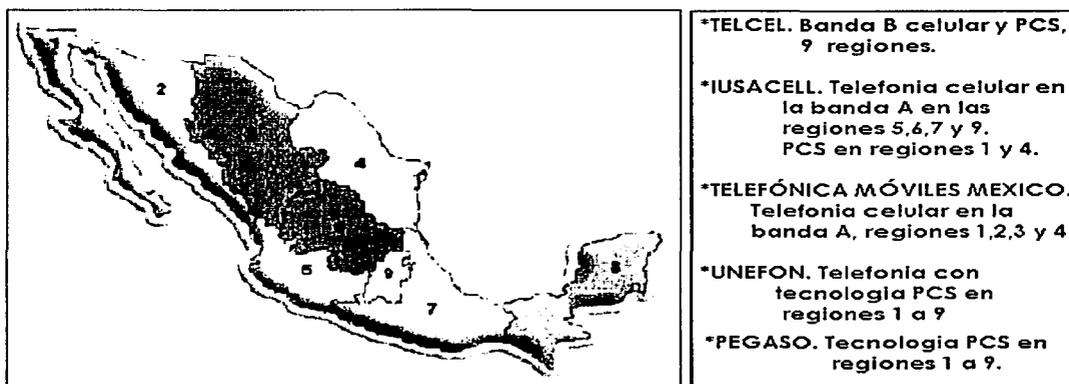
Esta Compañía es colaboradora de Televisa, en acuerdos con varios operadores locales e internacionales (Grupo Pegaso, Sprint, PCS, Leap Wireless, Citicorp, LAIF y Nissho Iwai). Pegaso construye la primera red 100 % digital en México, utilizando tecnología CDMA en la banda de 1900 MHz, esta empresa obtuvo los segmentos B y E en diferentes regiones y entró en operación en julio de 1999 en 4 de las principales ciudades de México y cuenta, actualmente, con más de 450,000 usuarios. Antes de finalizar el año 2000 debió iniciar operaciones en 7 ciudades más

8.2.1.3.5 UNEFON

Obtuvo el bloque A ha nivel nacional e inició operaciones en dos ciudades a fines de 1999, incluyendo la Ciudad de México y área conurbana. Cuenta actualmente con más de 70,000 abonados y dentro de sus planes de expansión está la cobertura para mediados de 2001 de 12 ciudades adicionales. Los accionistas más grandes de la compañía son la familia Saba y TV Azteca, quienes poseen cada uno el 46.5 %. El 7 % restante es público.

Finalmente, en la figura 8.25 se ilustra las regiones que cubren cada uno de estos operadores, y en la tabla 8.26 se ilustran las principales características de las empresas antes mencionadas.

COBERTURA EN MÉXICO POR EMPRESAS



FUENTE: Dirección General de Tarifas e Integración Estadística, **COFETEL**.

Figura 8.25: Regiones que cubren cada uno de los operadores de telefonía celular en México.

8.2.2 Posible Mercado para Cdma2000 en México

Como hemos estado viendo a lo largo del presente trabajo, una ventaja importante para la implementación de cdma2000 es que existan redes CDMA que evolucionen, lo cual disminuye los costos y hace más viable el cambio. En México la mayoría de las empresas tienen redes CDMA, lo cual nos hace creer que habrá un mercado muy grande para cdma2000 en México. En la tabla 8.27 se ilustra a las empresas que ofrecen servicios CDMA en México.

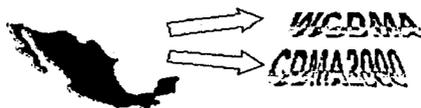
Tabla 8.26: Principales características de las empresas de telefonía celular.

Operador	Cobertura	Socios mayoritarios	Suscriptores a Enero de 2002	Estándar	Tecnología	Bandas de frecuencia [MHz]	Tipo de modulación
Telcel	Nacional	Grupo Carso Carlos Slim	12, 183, 820	AMPS	AMPS	800	FM
				IS-136	TDMA	800/1900	$\pi/4$ DQPSK
				GSM	TDMA	1900	GMSK
Iusacell	Regiones 5, 6, 7 y 9. Recientemente incorporadas regiones 1 y 4.	Vedizon y Vodafone	1,900,000	AMPS	AMPS	800	FM
				CDMA	CDMA	800/1900	QPSK
Telefónica Móviles	Regiones 1, 2, 3 y 4	Telefónica	750,000	CDMA/AMPS	AMPS/CDMA	800/1900	FM/QPSK
Pegaso	Ciudad de México, Monterrey, Guadalajara, Tijuana, Toluca, Reynosa, Saltillo, Nuevo Lardo, Cuernavaca, Mexicali, Ensenada y Chapala	Grupo Pegaso, Sprint PCS	1,500,000	CDMA	CDMA	1900	QPSK
Unefon	Toluca, León, Puebla, Monterrey, Querétaro, Guadalajara, Aguascalientes, Acapulco, San Luis Potosí, Morelia, Torreón, Tampico, Tuxtla Gutiérrez y D.F.	TV Azteca y familia Saba	700,000	CDMA	CDMA	1900	APSK

8.2.3 Selección de Tecnologías en México hacia 3G

Los concesionarios de telefonía inalámbrica en México seleccionan libremente la tecnología a emplear, teniendo cuidado que los servicios contemplados en su concesión (licencia) sean prestados dentro de los márgenes de calidad requeridos. Es decir, la autoridad reguladora no impone a los concesionarios el tipo de tecnología que deben utilizar, en cambio sí promueve y alienta a que se introduzcan nuevas tecnologías y se modernicen las redes que prestan el servicio.

Se estima que para evolucionar de 2G a 3G *Telcel*, con su estándar TDMA/IS-136, se dirigirá hacia la tecnología W-CDMA, a través de una etapa intermedia conocida como EDGE. Por otro lado, *Iusacell*, *Pegaso* y *Unefon* prefirieron el sistema CDMA para desplegar su red PCS en la banda de 1900 MHz, por lo tanto, estas empresas tienden a emigrar hacia una tercera generación a través de **cdma2000**.



Existe un factor muy importante en la selección que haga nuestro país hacia 3G, el cuál consiste en que nuestro país tiene una larga frontera terrestre con los Estados Unidos de Norteamérica y acuerdos de reciprocidad y protección de señales radioeléctricas trans-fronterizas. La importancia de tender hacia un mercado común nos obliga a alinear en lo posible la atribución de frecuencias nacionales con aquella de nuestros vecinos y principales socios comerciales, y esto se llevaría a cabo con mayor facilidad al compartir las mismas tecnologías de tercera generación.

El Gobierno de México busca aumentar el número y calidad de los servicios de telecomunicaciones y reducir su costo para beneficio de un mayor número de usuarios y de la competitividad de la economía mexicana; en este caso, se busca una mayor penetración y eficiencia en materia de radiotelefonía inalámbrica.

Tabla 8.27: Empresas que ofrecen servicios CDMA en México.

OPERADOR	TIPO DE SISTEMA	ESTATUS	PROVEEDORES DE INFRAESTRUCTURA	COBERTURA DE CDMA
Baja Celular Mexicana <i>Bajacel</i> (TELEFÓNICA)	Celular	Comercial	Motorola	Baja California (Región 1)
Celular de Telefonía <i>Cedotel</i> (TELEFÓNICA)	Celular	Comercial	Motorola	Noreste (Región 4)
<i>Grupo Iusacell</i> (COMCEL, PORTACEL, TELECOM, y SOS)	PCS	Comercial	Lucent	Baja California y Noreste (Regiones 1 y 4)
<i>Grupo Iusacell</i> (COMCEL, PORTACEL, TELECOM, y SOS)	Celular	Comercial	Lucent	Ciudad de México y áreas circundantes (Regiones 5 - 7, 9)
Movitel del Noroeste <i>Movitel</i> (TELEFÓNICA)	Celular	Comercial	Motorola	Noroeste (Región 2)
<i>Pegaso</i> Telecomunicaciones S.A.	Híbrido ,WLL y Móvil	Comercial	Ericsson	Nacional
<i>Pegaso</i> Telecomunicaciones S.A.	PCS	Comercial	Ericsson	Nacional
Sistemas Profesionales de Comunicación (SPC)	PCS	Despliegue	Nortel Networks	Todas las regiones de México
Telefonía Celular del Norte (NORCEL)	Celular	Comercial	Motorola	Norte (Región 3)
<i>Unefon</i>	PCS	Comercial		Acapulco, Guadalajara, Guerrero, León, Ciudad de México, Monterrey y Toluca, Saltillo, Coahuila, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.

8.2.4 México hacia 3G

Al admitir que el mayor impacto en las telecomunicaciones modernas estará dado por los sistemas móviles personales, se deduce fácilmente el porqué del interés mundial por las bandas de frecuencias que brinden las características óptimas de operación de estos sistemas:

- menor requerimiento de potencia;
- mejor penetración y cobertura;
- menor efecto por velocidad de desplazamiento;
- mayor ancho de banda posible, etc.

De manera práctica, se puede decir que las frecuencias propicias para aplicaciones móviles se extienden desde los cientos de kHz hasta una frontera tecnológica de propagación radioeléctrica que se sitúa entre los 3600 MHz y 3700 MHz. Hacia valores más altos se requiere de línea de vista casi de manera forzosa.

En México la administración del espectro radioeléctrico es regulada por la COFETEL (Comisión Federal de Telecomunicaciones), quien se encarga de llevar a cabo las licitaciones y subastas para la distribución del espectro (figura 8.28).

Atribuciones en México de 0.5 a 3600 MHz

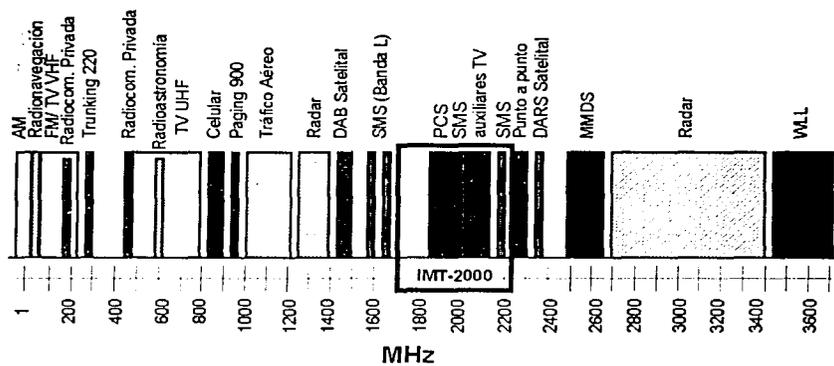


Figura 8.28: Atribución del espectro radioeléctrico a diferentes servicios en México.

8.2.4.1 Consideraciones de México para los posibles arreglos de frecuencias

En los análisis realizados en México, tendientes a contribuir a los trabajos a nivel regional y mundial para la determinación de los planes de frecuencias que permitan la introducción eficiente de las IMT-2000; se han identificado los siguientes principios fundamentales:

- Evolución de los sistemas actuales maximizando las inversiones hechas hasta el momento en sistemas de 2G, garantizando su evolución hacia 3G.
- Uso eficiente del espectro radioeléctrico.
- Facilitar el roaming global.
- Factibilidad tecnológica.
- Compatibilidad entre sistemas 3G para tener acceso a las economías de escala.
- Uso de frecuencias que garantice el futuro desarrollo de los sistemas IMT-2000.

8.2.4.2 La posición de México ante IMT-2000

La selección de las frecuencias idóneas para los sistemas de tercera generación y futuras tecnologías inalámbricas en México, propiciará el crecimiento económico, asimismo facilitará el desarrollo integral de los nuevos servicios de telecomunicaciones y el uso óptimo de los sistemas actualmente en operación en nuestro país.

Las frecuencias identificadas en la CMR-92 (incluyendo las sub-bandas para el componente satelital de 1980-2010 MHz y 2170-2200 MHz) desafortunadamente resultan incompatibles con las atribuciones de la Región 2, poniendo en entredicho las importantes inversiones que los operadores habían ya realizado en PCS. Por otro lado, durante la Conferencia Mundial de Radiocomunicaciones del 2000, México apoyó las decisiones sobre la identificación a nivel mundial de las bandas de frecuencias adicionales de 806-960 MHz, 1710-1885 MHz y 2500-2690 MHz para las IMT-2000; con la expectativa de que la armonización mundial podría lograrse en estas bandas de frecuencias (ver figura 8.29).

La banda 2500-2690 MHz fue apoyada fuertemente por países de las regiones 1 y 3. No obstante en varios países de la región 2 es utilizada por sistemas de distribución de señales multipunto-multicanal (MMDS).

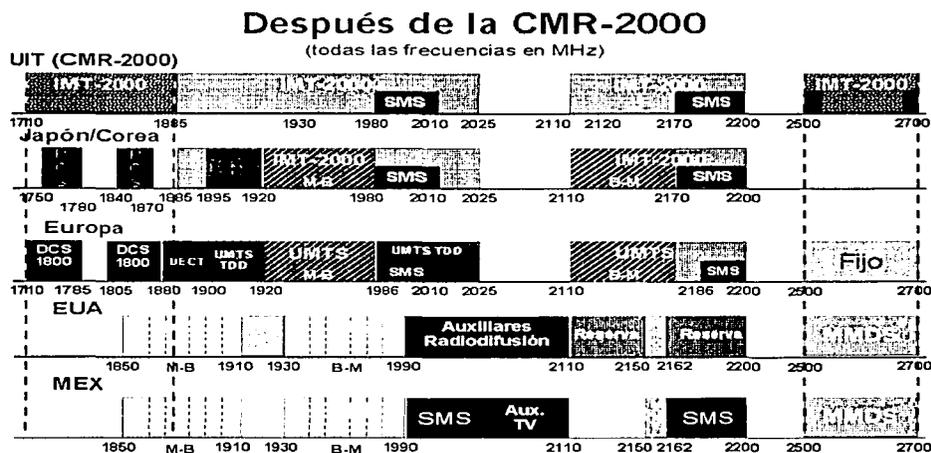


Figura 8.29: Asignación de frecuencias para las IMT-2000.

8.2.4.3 Bandas identificadas por México como factibles para los sistemas móviles hacia 3G

Con base en la Agenda para la CMR-2000, la Administración de México inició sus trabajos preparatorios para tratar los temas relativos a las IMT-2000 bajo la coordinación de COFETEL. En dichos trabajos se consideraron las siguientes bandas de frecuencias:

- ~~470-806 MHz,~~
- 806-960 MHz, ✓
- (824-849 y 869-894)
- 1710-1885 MHz, ✓
- 2110-2160 MHz 1/2
- ~~2290-2300 MHz,~~
- ~~2300-2400 MHz,~~
- 2500-2690 MHz 1/2
- ~~2700-2900 MHz~~

- **806 – 960 MHz.-** Puede identificarse para su uso a nivel regional, ya que a través de estas bandas la evolución de los sistemas 1G y 2G se realizará de manera natural.
- **1710 – 1885 MHz.-** Es la banda más adecuada para ampliación en una base global de IMT-2000 (el segmento 1850-1885 MHz se encuentra sujeto a la evolución de PCS).
- **2110 – 2160 MHz.-** Actualmente atribuida a servicio fijo multicanal. Se encuentra en proceso de despeje y pudiera constituir una banda candidata para IMT-2000. Debido a que se encuentra atribuida para servicios de televisión y audio restringido, utilizando sistemas MMDS.
- **2500 – 2690 MHz.-** Se considera poco factible para la introducción de IMT-2000 en el corto y mediano plazo; no obstante, en aras de la armonización se podría aceptar su identificación a una escala mundial.

Con anterioridad, en México se utilizaba la banda de 1700-2300 MHz para el establecimiento de enlaces punto a punto, sin embargo, con base en las decisiones de la Conferencia Administrativa Mundial de Radiocomunicaciones de 1992 (CAMR-92), en 1994 se determinó el despeje de esta banda para dar cabida a nuevos servicios de radiocomunicaciones, lo cual se encuentra en proceso.

En el caso de la banda de 1850-1990 MHz, en 1998 el Gobierno de México, decidió otorgar concesiones por 20 años en las sub-bandas A, B, D y E, del plan de frecuencias de los PCS, y se tienen en reserva las sub-bandas C y F.

Como se ha venido comentado, en México existen condiciones propicias de implantación en el segmento de 1710-1850 MHz de la banda identificada de 1710-1885 MHz, por lo tanto, esta banda resulta ser una excelente opción, ya que al encontrarse disponible, permitirá la armonización de espectro del roaming mundial en el corto plazo. Por otro lado, en la banda de 2500-2690 MHz operan los sistemas MMDS (cuyo amparo de concesiones tiene vigencia de 15 años), estos sistemas de radiodifusión de televisión por microondas o MMDS, se desarrollan desde los años 80's del siglo pasado con una configuración de 31 canales analógicos de 6 MHz (de 2500 a 2686 MHz). Los sistemas MMDS compiten fuertemente con los sistemas de TV por cable, gracias a su gran versatilidad y facilidad de instalación. Adicionalmente, ha surgido el interés de la industria de MMDS de contar con un canal de retorno para aplicaciones de Internet, para lo cual se ha identificado el segmento 2150-2162 MHz para tales usos. Estas frecuencias de retorno, denominadas MDS1 y MDS2, cuentan con 6 MHz de ancho de banda cada una y pueden ser utilizadas como retorno simétrico o asimétrico (ver figura 8.30).

Después de la CMR-2000

(todas las frecuencias en MHz)

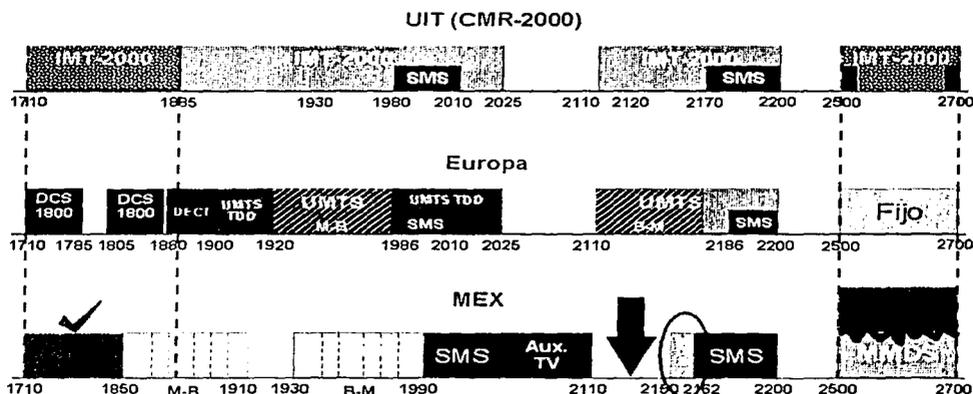


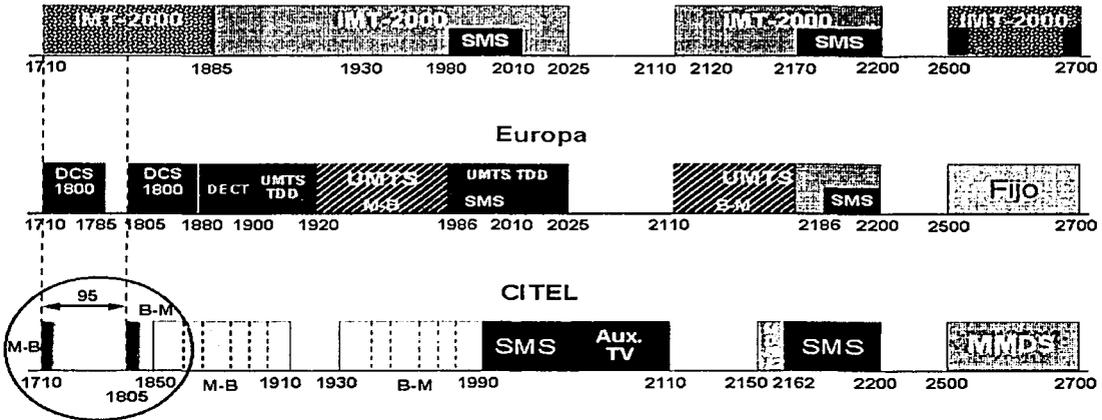
Figura 8.30: Segmentos libres de frecuencias y diferentes servicios que se ofrecen en el espectro radioeléctrico para la implantación IMT-2000 en México.

Durante la última reunión del CCP. III (Ottawa, 11-15 junio 2001), el Grupo de Trabajo sobre Servicios de Radiocomunicaciones Terrestres Fijos y Móviles preparó un proyecto de Recomendación, el cual, de aprobarse en la siguiente reunión del Comité, propone diversas opciones (ver figura 8.31) de apareamiento de bandas para la implementación de 3G en la región 2, principalmente, lo que involucra a México directamente.

Opción 1

(todas las frecuencias en MHz)

UIT (CMR-2000)



Opción 2

(todas las frecuencias en MHz)

UIT (CMR-2000)

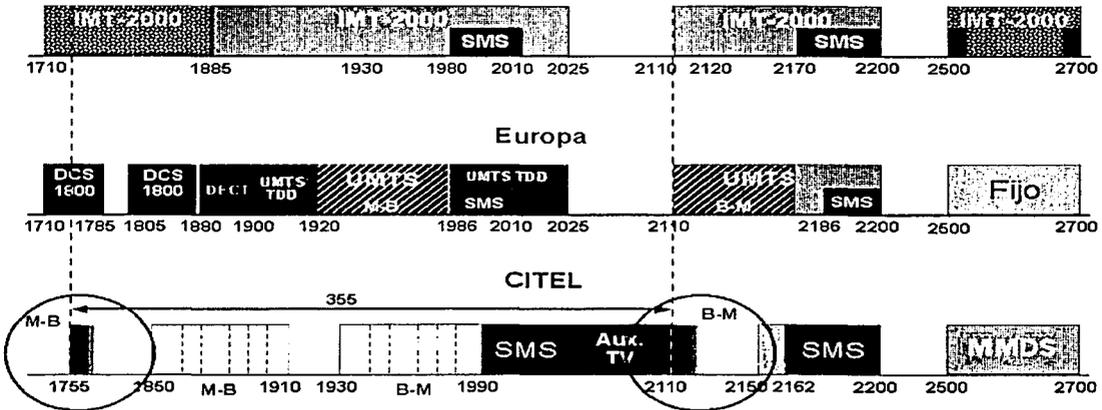
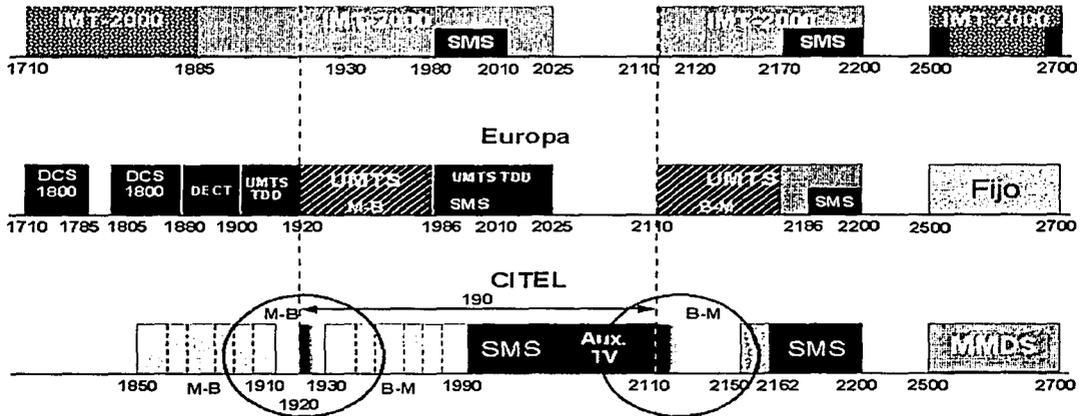


Figura 8.31: Opciones de apareamiento de bandas para la implementación de Tercera Generación.

Opción 3

(todas las frecuencias en MHz)

UIT (CMR-2000)



Opción 4

(todas las frecuencias en MHz)

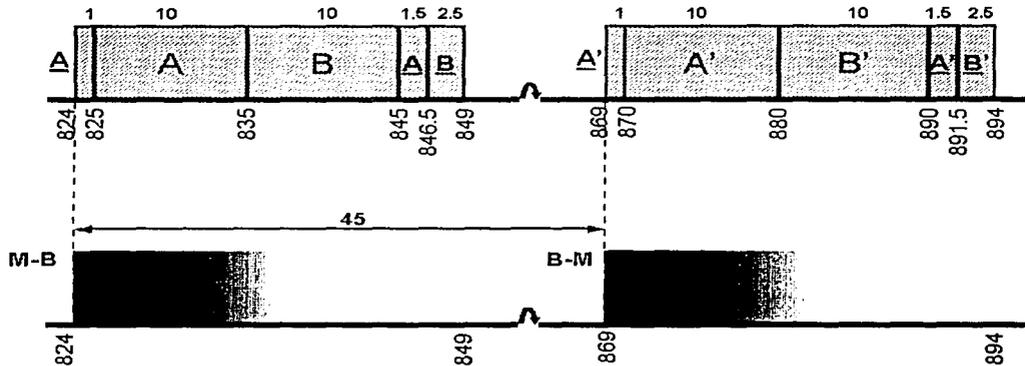


Figura 8.31: Opciones de apareamiento de bandas para la implementación de Tercera Generación. (continuación)

La banda de los 800 MHz ha sido ampliamente utilizada en la región 2 para la aplicación celular, estos sistemas también podrán tener la oportunidad de evolucionar para ofrecer servicios de 3G, por lo tanto, México también apoyará el desarrollo de estos sistemas para que ofrezcan servicios de tercera generación.

El espectro que ya fue asignado en la Región 2 por algunas administraciones para los sistemas PCS y Celular, tendrán la oportunidad de evolucionar hacia servicios de tercera generación, tal como es el caso de México, por lo que se seguirá apoyando que dichos sistemas evolucionen para prestar servicios de tercera generación.

Opción 5

(todas las frecuencias en MHz)

UIT (CMR-2000)

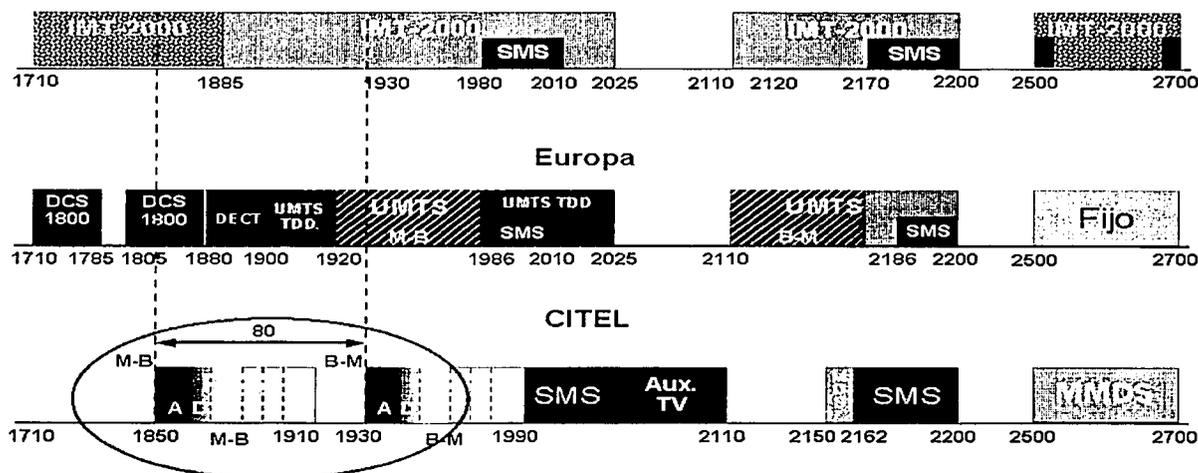


Figura 8.31: Opciones de apareamiento de bandas para la implementación de Tercera Generación. (continuación)

Con la adopción de alguna de estas posibles opciones no existe peligro de obstaculizar la entrada en México de servicios de 3G con la licitación de las frecuencias MDS 1/2, pues todo parece indicar que su introducción en la Región 2 se llevará a cabo en frecuencias distintas a éstas. Por otro lado, tomando en cuenta que el desarrollo tecnológico permitirá a mediano plazo facilitar la interoperabilidad móvil mundial, los sistemas existentes en cada país podrán adecuarse automáticamente para operar en la modulación y en las bandas de frecuencias adoptadas por otros países o regiones.

8.2.5 Grupos de Trabajo hacia 3G (Cdma2000) en México

En virtud de que el desarrollo de los sistemas 3G han tomado singular importancia en el ámbito nacional, regional e internacional se han decidido crear diferentes grupos de trabajo en México. La Comisión Federal de Telecomunicaciones (COFETEL) ha decidido crear un Grupo de trabajo, llamado: **Grupo Especializado de Trabajo GMT/8F**, que tiene por objetivo analizar y discutir los diferentes escenarios técnico-regulatorios que se debaten en los foros regionales e internacionales, como CITEI y UIT, analizando su eventual adopción en nuestro país. En este grupo de trabajo se espera contar con la participación de entidades de gobierno, instituciones educativas y de investigación, de operadores de redes y proveedores de equipos.

Para abordar los aspectos relacionados a las IMT-2000 en México, se encuentra el **Subgrupo de trabajo SGT-1.1** cuyas tareas principales son: examinar las necesidades de espectro y reglamentación para las aplicaciones IMT-2000, identificación de un canal de control radioeléctrico mundial para facilitar el funcionamiento de la terminal multimodo y la itinerancia a escala mundial de las IMT-2000, en participar en el grupo 8F de la UIT, en la Reunión Preparatoria de la Conferencia y en la próxima Conferencia Mundial de Radiocomunicaciones. En el mismo sentido, contribuir a los trabajos sobre el tema dentro de las Comisiones Preparatorias para la Participación de México en las Reuniones del Comité Consultivo Permanente III: Radiocomunicaciones de CITEI y en las propias Reuniones del CCP III.

En el SGT-1.1 participa personal de la COFETEL y de la Dirección General de Políticas de Telecomunicaciones; por parte de la industria, se cuenta con la valiosa participación de Alcatel, Indetel, Ericsson Telecom., Lucent Technologies, Motorola de México, Nec de México, Nortel Networks y Qualcomm

CONCLUSIONES

La telefonía celular ha crecido a pasos agigantados, debido a que además de ser una herramienta de trabajo se ha convertido en un bien de consumo familiar, un medio que te mantiene comunicado, sin embargo, la globalización del mercado y los hábitos laborales y de ocio están exigiendo el arribo de una nueva generación, la cual nos permita una nueva variedad de aplicaciones con velocidades de hasta 2Mbps, con dispositivos que resulten en una convergencia entre las industrias de las telecomunicaciones y la computación. Para lograr este sueño de estar comunicado en todo momento y en todo lugar, las empresas junto con los organismos de normalización han planteado e impulsado diversos caminos para realizar esta emigración de acuerdo al sistema o red digital de segunda generación que se esté empleando.

Durante el desarrollo del presente trabajo se hizo un estudio del sistema de comunicaciones móviles *cdmaOne*, analizándose cada uno de los elementos que lo integran, es decir, la interfaz aire, la norma de la red ANSI-41 para la interconexión por conmutación, además de muchas otras normas; este estudio permitió conocer bajo que características y limitaciones trabaja dicho sistema, con lo cual se pudo comprender la importancia de emigrar hacia nuevos sistemas que optimicen los recursos de que se dispone, brinden una mayor variedad de servicios, y sean accesibles al público en general, es decir, sistemas de Tercera Generación (3G). Ahora bien, *cdma2000* es una trayectoria de migración transparente que respalda económicamente la actualización a las características y servicios 3G dentro de las asignaciones del espectro actual tanto para los operadores celulares como los de PCS; en pocas palabras, representa la opción más idónea para que el sistema *cdmaOne* (2G) emigre hacia los sistemas 3G, debido a que maneja el concepto de evolución que es muy útil y prometedor, en la medida que mantiene la flexibilidad tecnológica y la evolución de las redes CDMA requerirán de un cambio de infraestructura mínimo.

No cabe duda que los sistemas de Tercera Generación traerán consigo grandes beneficios y nuevos servicios de telecomunicaciones, los cuales tendrán las siguientes especificaciones:

- Tasas de transmisión de datos altas (*144 Kbits/s o mayor para ambiente vehicular; 384 Kbits/s para ambiente peatonal; 2 Mbits/s o mayor para ambiente fijo o cerrado; y 9.6 Kbits/s en enlaces satelitales*).
- Transmisión de datos simétrica y asimétrica.
- Servicios de conmutación de circuitos y de paquetes de datos.
- Buena calidad de voz, comparable a la calidad de una línea telefónica.
- Mayor capacidad y eficiencia en el uso del espectro.
- Varios servicios simultáneos a usuarios finales, como servicios de multimedia.
- Incorporación de sistemas celulares de 2G, a fin de evitar cualquier discontinuidad entre los sistemas de segunda y tercera generación.
- Economías de escala y un estándar global abierto que satisfaga las necesidades del grueso del mercado.

Tomando en cuenta dichas especificaciones, los sistemas 3G prometen servicios de multimedia y transferencia rápida de datos entre diferentes móviles, como video, audio, etc; además, se espera que estos sistemas sean la cúspide del proceso de convergencia entre las dos tecnologías más explosivas de nuestro

tiempo: Internet y comunicaciones celulares.

Ahora bien, conociendo las especificaciones que engloban a los sistemas 3G, se enuncian las ventajas considerables que ofrece cdma2000 y que justifican se le catalogue como el camino más viable para los operadores que trabajan bajo el sistema cdmaOne:

- ✓ Amplía gama de ambientes de operación.
- ✓ Amplio rango de desempeño.
- ✓ Amplía gama de servicios avanzados.
- ✓ Una avanzada capacidad de control de calidad de servicio (QoS) en multimedia soportando múltiples transmisiones de voz simultáneamente, alta velocidad de transmisión de paquetes de datos, y alta velocidad en servicios de circuitos de datos.
- ✓ Estructura modular para soportar los protocolos existentes y los nuevos de tercera generación de Señalización de Capas Superiores.
- ✓ Interoperabilidad y transferencia de llamada con los sistemas existentes IS-95B.
- ✓ Evolución uniforme de los sistemas existentes basados en IS-95B.
- ✓ Excelente optimización y asignación del espectro.
- ✓ Soporte de los servicios existentes de IS-95B.

A fin de facilitar la migración de *cdmaOne* a las capacidades de *cdma2000* ofreciendo características avanzadas en el mercado de una manera flexible y oportuna, su implementación se ha dividido en fases evolutivas. Las capacidades de la primera fase se han definido en una norma conocida como 1X. Esta norma introducirá servicios avanzados de paquetes de datos a 144 Kbps en un entorno móvil y a mayor velocidad en un entorno fijo; todas estas capacidades se ofrecerán en un canal existente de 1.25 MHz de cdmaOne. Posteriormente, se dará paso a una segunda fase conocida como 3X, la cual suministrará velocidades de hasta 2 Mbits/seg. e incorporará capacidad avanzada de multimedia.

Un ejemplo de lo anterior es el caso Corea, en donde a partir de octubre del 2000 se brinda el servicio comercial cdma2000 1X que de manera exitosa ha ofrecido servicios de datos de alta velocidad y multimedia móvil, debido a la creciente demanda de nuevos servicios de esta índole. Para diciembre del 2001 cdma2000 1X contaba ya con más de tres millones y medio de suscriptores, además, se estipulaba que cerca de 700,000 suscriptores de servicios móviles migraban hacia cdma2000 1X cada mes. Esto es un claro ejemplo de los grandes beneficios y resultados que ofrece la implantación del sistema cdma2000, sin embargo, dicho éxito depende de un número de factores claves los cuales juegan un papel muy importante, estos son:

1. Existe una política firme y basta para coordinar los desarrollos por parte de las autoridades y el gobierno. Por otro lado, existen 5 empresas que ofrecen servicios CDMA lo cual implica competitividad entre los operadores, que a su vez ofrecen al usuario precios bajos y satisfacción con el servicio.
2. Las empresas que ofrecen el servicio se han preocupado por mantener en excelente estado sus redes ofreciendo servicio de calidad con nuevos avances en la tecnología cada día, con terminales ligeras y fáciles de usar a un costo modesto.
3. Los operadores del servicio mantienen una operación de red estable sin sufrir interrupciones en el servicio y con soporte técnico inmediato.
4. Por último, la población coreana está sedienta de nueva tecnología y cualquier servicio innovador es reconocido y valorado, debido a que en este país se cuenta con un alto nivel económico y educativo.

Finalmente, los coreanos están dispuestos al cambio ya que siguen trabajando en sus planes de migración del sistema CDMA2000 1X hacia sistemas futuros como son 1X-EV DO y 1X-EV DV, los cuales ofrecerán mayores velocidades y servicios que el sistema actual.

Ahora bien, para la implantación del sistema cdma2000, nuestro país a tomado en cuenta de que dicho sistema es la principal tecnología propuesta por los EE.UU. para emigrar hacia los sistemas 3G, lo cual representa una influencia importante en la elección tecnológica que se haga para emigrar hacia 3G, debido a la gran frontera compartida con los EE.UU. y el mercado compartido con este.

El desarrollo del sistema cdma2000 en nuestro país esta condicionado por un número de factores que determinarán, en gran medida, el impacto que tenga éste sobre el país. Haciendo una analogía de los primeros tres factores de éxito en la implantación del sistema cdma2000 en Corea, se piensa que nuestro país puede llegar a cubrir estos puntos si establece políticas firmes y bastas para coordinar el desarrollo de dicho sistema. Sin embargo, al referirse al cuarto punto, es muy claro que nuestro país cuenta con un gran rezago educativo, cultural y de desconocimiento del manejo de sistemas informáticos y electrónicos en toda la población; además, aunado a esto, se presentan problemas económicos los cuáles dificultarán aún más el desarrollo del sistema cdma2000 en el país.

Finalmente, con el fin de obtener un desarrollo equivalente o aproximado a lo obtenido en el caso Corea, es indispensable que el país lleve a cabo una reforma educativa y cultural hacia toda la población, además, debe brindar todos los medios disponibles para dicha población tenga acceso al manejo de sistemas informáticos y electrónicos; pero más que nada, deben brindar las oportunidades necesarias para que cada habitante del país tenga el poder de solventar los problemas económicos que presenta. Por otra parte, se debe de crear o despertar en los usuarios, por parte de los proveedores de servicios, la necesidad de nuevos e innovadores servicios los cuales al ser valorados y reconocidos por estos, vean en ellos algunos otros beneficios que la tecnología pone a su servicio.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

NOV 11 1951
LIBRARY OF CONGRESS

APENDICE

A.1 FUNDAMENTOS BÁSICOS DE TELEFONÍA MÓVIL CELULAR

A.1.1 Conceptos Básicos

A.1.1.1 *Objetivos en el diseño del sistema celular*

La telefonía móvil consiste en ofrecer un acceso "vía radio" a un abonado de telefonía, de tal forma que pueda realizar y recibir llamadas dentro del radio de cobertura del sistema (área dentro de la cual la terminal móvil puede conectarse con el sistema de radio para llamar o ser llamado). La radio celular ha aparecido debido a que era requerido proveer un servicio de telefonía móvil con una cobertura nacional, no solamente estatal o regional. Se entiende por cobertura, la zona desde la cual una terminal móvil puede comunicarse con las estaciones de base y viceversa. Es el primer parámetro en que se piensa al diseñar una red de comunicaciones móviles. En primer lugar, la cobertura o el alcance radio de una red es la composición del alcance radio de la suma de todas sus estaciones de base. A la hora de planificar una red, desde el punto de vista de la cobertura, el primer dato que se necesita saber es la zona que se desea cubrir o zona de servicio.

Debido a las características particulares del trayecto radioeléctrico, únicamente puede hablarse de cobertura en sentido estadístico. Esto implica que, las áreas que se representan teóricamente cubiertas, lo están en un determinado porcentaje de ubicaciones y de tiempo.

La diferencia entre un sistema móvil celular y uno "sin hilos" (*cordless*), es que mientras el primero se supone que tiene una cobertura amplia (normalmente cobertura nacional), en el caso de un sistema "cordless" se supone que la cobertura es limitada (un área de oficinas o los alrededores de un área residencial).

Por lo tanto, un sistema celular consta de una serie de células cubiertas cada una por un sistema de radio que permite la conexión de los terminales móviles al sistema (estación base), y un sistema de conmutación (centro de servicios móviles) que permite la interconexión entre las estaciones base y la conexión del sistema a la red de conmutación pública.

Las estaciones base controlan la conexión radio de las terminales móviles, y permiten tener permanentemente localizados a los distintos abonados.

La propuesta del concepto celular es una respuesta a los problemas de los primeros sistemas de comunicación móvil:

- Áreas de cobertura limitada.
- Desempeño de servicio pobre.
- Uso ineficiente del espectro de frecuencias disponible.
- Capacidad de usuarios limitada.

Según la Comisión Federal de Comunicaciones (*FCC*) hay tres parámetros básicos que definen el sistema de telefonía celular:

- Capacidad
- Células
- Reuso de frecuencias

A partir de esto y contando con que los sistemas de comunicación celular son redes conmutadas que permiten la transmisión de voz y datos en forma confiable a través del espacio aéreo, al diseñar el sistema celular se tomará en cuenta el cumplimiento de los siguientes objetivos:

- ✓ *Mayor capacidad de usuarios*
- ✓ *Utilización del espectro*
- ✓ *Compatibilidad nacional*
- ✓ *Servicios portátiles y especiales:* El sistema celular debe ser capaz de proveer servicios adecuado para teléfonos portátiles, así como en vehículos. El sistema también debe contar con servicios especiales, según lo permita su forma de operación.
- ✓ *Adaptabilidad para tráfico denso:* Debido a que la densidad de tráfico puede ser diferente en varios puntos del área de cobertura, el que sea capaz de designar y operar con estos diferentes tráficos es parte de la operabilidad del sistema celular.
- ✓ *Calidad en el servicio y accesibilidad*

El concepto celular consta de la distribución de transmisores de baja potencia que cubren un área limitada llamada célula. Esta célula es cada una de las unidades básicas de cobertura en que se divide un sistema celular. Cada célula contiene un transmisor - que puede estar en el centro de la célula (ver figura A.1), si las antenas utilizadas son o utilizan un modelo de radiación omnidireccional, o en un vértice de la misma, si las antenas tienen un diagrama directivo y transmiten un subconjunto del total de canales disponibles para la red celular a instalar.

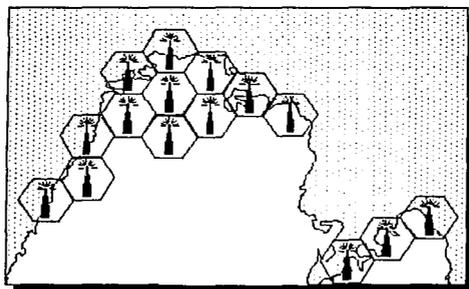


Figura A.1: Células con transmisor central y con radiación omnidireccional

Cada célula, además de varios canales de tráfico, tendrá uno o más canales de señalización o control para la gestión de los recursos radio y la movilidad de las unidades móviles a ella conectadas. Los sistemas celulares incorporan la ventaja de que al dividir el área de cobertura en células, limita convenientemente la potencia con que se emite cada frecuencia, permite la reutilización de las mismas a distancias bastante cortas y por lo tanto, aumenta tremendamente la capacidad de los sistemas.

Cabe mencionar que el propósito principal de definir células en un sistema de radio móvil es delimitar ciertas áreas en las cuales los canales o las estaciones base serán utilizadas al menos preferentemente o exclusivamente. Si se utilizan antenas transmisoras omnidireccionales, idealmente el área de cobertura sería circular.

Por lo tanto, para modelar las células, un círculo sería la mejor opción. Sin embargo, al llevarse a cabo con células circulares se pueden presentar áreas de traslape, añadiendo dificultades a la planeación de las frecuencias. Por lo tanto, polígonos regulares, tales como, cuadrados, triángulos equiláteros, y hexágonos no presentan estos contratiempos (ver figuras A.2 y A.3). El hexágono regular es la opción más conveniente, ya que es el que presenta más semejanza con el círculo.

Las células pueden ser ubicadas de manera modular, y en teoría el sistema puede crecer indefinidamente. La red se encuentra diseñada para que los tamaños de las células sean relativos al número de usuarios; por lo tanto, entre mayor número de usuarios las células son más pequeñas y hay un mayor número de ellas para cubrir el área, como sería en las zonas urbanas; en las zonas rurales, las células son de mayor área y el número de ellas es menor.

Un conjunto de células forman un **cluster** o “racimo” (ver figura A.3). Entre todos, agrupan en la práctica la totalidad de las frecuencias disponibles por la red celular. Sumando varios clusters es como se alcanza la cobertura final del sistema celular, reutilizándose de esta manera las mismas frecuencias en todos los racimos. Por tanto, el **reuso de frecuencias** se presenta al usar una misma frecuencia en 2 células con una distancia suficiente entre ellas para prevenir la **interferencia cocanal** que deteriora la calidad en el servicio. Conforme el número de usuarios aumenta, los canales asignados originalmente a la célula pueden ser continuamente reasignados, por lo que el sistema no podrá nunca tener problemas de no tener canales disponibles para el servicio del usuario.

El uso múltiple del mismo canal en células con una separación geográfica que asegura que el radio espectro es utilizado de manera eficiente. Para llevar a cabo el reuso de frecuencias se realiza la Planeación de Frecuencias. El número de células en cada cluster determina el **patrón de repetición**, también conocido como **patrón de reuso**. Debido a limitaciones geométricas, sólo pueden aplicarse ciertos patrones de reuso, siendo los más comunes con 4, 7 y 12 células por cluster.

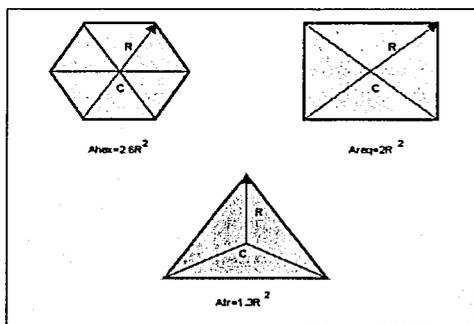


Figura A.2: Parámetros y áreas de los polígonos regulares.

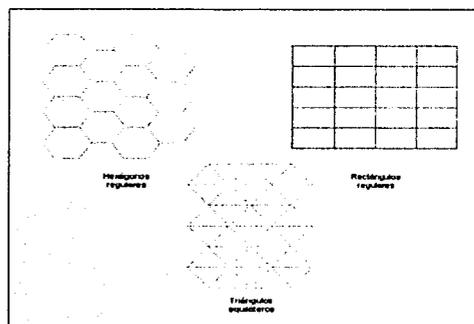


Figura A.3: Configuración de un conjunto de células para los diferentes polígonos regulares.

Sin embargo, otros arreglos son posibles y del tamaño de los clusters se determina la distancia de separación entre células con reuso de frecuencias, de todas formas un número de canales limitado puede ser asignado a cada célula. Generalmente, se utiliza el plan $N = 7$ que es un cluster de 7 células (ver figura A.4).

Las células usando la misma frecuencia portadora son llamadas **cocélulas**. Estás son ubicadas con una distancia de separación suficiente para que la **interferencia cocanal** pueda estar dentro de límites tolerables. Con este concepto, una región atendida inicialmente por una radio base en un sistema móvil convencional es dividida en varias células, cada una con su propia radio base, atendida por su propio subconjunto de canales.

El tamaño de las células varía de acuerdo a la planeación de la red, en la cual interviene “la demanda de tráfico”. Se considera que las células deben ser muy pequeñas. Recientes estudios sugieren el uso de microcélulas (aprox. 90 m de radio) con una frecuencia cercana a los 60 GHz.

El menor patrón de reuso con el mayor número de canales por célula, corresponde a la mayor capacidad de

tráfico del sistema. Sin embargo, éste patrón con la menor distancia entre cocélulas, lleva a tener una mayor interferencia cocanal.

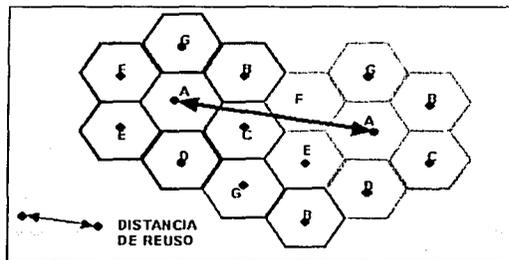


Figura A.4: Configuración del reuso de frecuencias, para un factor de reuso de 7.

Las estrategias de asignación de canales juegan un papel muy importante en la **interferencia de canal adyacente**. Aunque el equipo de radio está diseñado para seleccionar únicamente los canales deseados eliminando las frecuencias adyacentes, puede haber situaciones en que los canales adyacentes causen interferencias. Estas pueden presentarse por ejemplo, cuando dos móviles utilizando canales adyacentes transmiten a la radio base desde una corta y larga distancia, respectivamente. Los problemas de interferencia empeoran en presencia de los desvanecimientos.

A.1.1.2 Capacidad

Es la cantidad de tráfico que puede soportar este tipo de sistemas. El diseño de una red celular está pensado para soportar, gracias a que se comparten los canales y a la división celular, una gran capacidad de tráfico. La capacidad por cada bloque de canales distribuidos en una célula se calcula mediante la aplicación de la fórmula de Erlang [E], es decir, como un sistema de llamadas pérdidas (sin colas). Una línea permanentemente ocupada corresponde a 1 [E]; una línea permanentemente libre corresponde a 0 [E]. La palabra Erlang significa Extra Relatively Language.

El Erlang es la capacidad que aporta este tipo de sistemas es función del número de canales utilizados, o ancho de banda disponible, del tamaño de las células y de la configuración de los clusters. La capacidad será mayor cuanto mayor ancho de banda se disponga, cuanto menor sea la célula y cuantas menos células sean necesarias por cluster. Este último parámetro estará fuertemente ligado a la relación de interferencia cocanal que el sistema es capaz de soportar. Respecto al tamaño de la célula, este estará limitado por la capacidad del protocolo de gestión de la movilidad y por la velocidad a la que se desplacen los móviles en la zona de servicio. Para cálculos matemáticos:

$$E = \lambda th \text{ [Erlang]} \quad (A-1)$$

donde:

- λ es el número de llamadas entrantes en el sistema en una unidad de tiempo expresado en llamadas por hora.
- th es el tiempo promedio que tarda la llamada, expresado en horas por llamada.

A.1.1.3 Calidad

La calidad del servicio debe ser comparable con el servicio de telefonía convencional. El nivel de calidad lo establece el *Grado de Servicio* o GOS. El GOS puede ser definido como el número de llamadas pérdidas o

que no se llevaron a cabo, de manera relativa al número de llamadas intentadas. En la práctica, el GOS es expresado como la proporción de llamadas que no pudieron llevarse a cabo durante la hora pico de servicio debido a la falta de canales. El GOS debe ser típicamente de 0.02 o 2% y si es posible menor. Esto significa que como máximo 2 llamadas en promedio, de cada 100 pueden ser bloqueadas, o considerarse una llamada pérdida en horas pico de servicio, durante las horas no pico el servicio no debe tener problemas para llevar a cabo todas las llamadas. A parte de la calidad en el servicio, también para los usuarios el costo y los aspectos económicos al contratarlo juegan un papel importante en su decisión, por tanto debe ser accesible al público en general.

A.1.1.4 Operaciones en un Sistema Celular

A.1.1.4.1 Proceso de transferencia de llamada

Ya que el sistema está diseñado para permitirle al móvil trasladarse de una célula a otra, se requiere que la llamada ya en curso no sea interrumpida en este proceso. Debido a esto, se requiere que el móvil cambie de un canal a otro, de manera transparente para el usuario. Esta acción de cambio de canales es conocida como “**Transferencia de llamada**” (handoff o handover). Los handoffs ocurren cuando la intensidad de señal se debilita y sobrepasa un valor umbral. Este proceso de handoff hace que el sistema celular sea móvil dentro de las áreas de cobertura de las radio bases celulares y es lo que lo diferencia de los sistemas inalámbricos fijos, en los que no existe la movilidad de las unidades telefónicas (de allí el nombre de unidades fijas).

En general, cuando una llamada telefónica celular está ocurriendo, la radio base esta constantemente monitoreando los niveles de potencia con los que se esta llevando a cabo dicha llamada. La radio base tiene programado un nivel mínimo de señal con el que puede mantener una llamada telefónica celular en el aire.

Cuando este nivel llega a su límite, la radio base solicita al conmutador que se haga un handoff con esa llamada. Después de que la radio base solicita al conmutador el handoff, éste envía un mensaje a las radio bases vecinas para que le informen el nivel de señal que tienen del suscriptor que se encuentra localizado en la radio base original. La radio base que reporte el nivel más alto de señal, será la nueva a la cual se transferirá la llamada.

Es importante saber que en la base de datos del conmutador está almacenada toda la información de las radio bases celulares del sistema y la localización de ellas, identificando el conmutador fácilmente, cuales radio bases son vecinas entre sí y cuales no lo son. Esto facilita el proceso de handoff al momento de tomar las lecturas de señal de una llamada telefónica celular en una determinada radio base.

Las radio bases vecinas envían la información del nivel de señal al conmutador; seleccionando éste la del nivel más alto. La radio base seleccionada o radio base nueva, selecciona un canal para el nuevo inquilino y envía esta información al conmutador. El conmutador envía la información de handoff a la radio base original o solicitante. Esta radio base envía esta información al suscriptor celular, el cual le contesta que está listo para realizar el proceso de handoff. Inmediatamente, corta la llamada de la celda original y se sintoniza al canal de la radio base nueva o seleccionada por el conmutador.

Este proceso de handoff dura aproximadamente un cuarto de segundo, por lo que no es percibido por el oído humano y no se interrumpe el proceso de la llamada telefónica. Sin embargo, en el caso de suscriptores celulares conectados a fax o módems, algunos datos pueden ser perdidos durante este proceso, por lo que se recomienda que el suscriptor móvil esté estacionario cuando emplee estas aplicaciones.

En función de la relación entre los canales origen y destino de la comunicación, los *handover* pueden clasificarse en:

- **Handover intercelular**, si el canal destino se encuentra sobre otra frecuencia distinta a la del origen, pero en la misma célula;
- **Handover interRB**, cuando hay cambio de célula pero ambas células se encuentran dentro del mismo sistema controlador de radio base;

- **Handover interMTSO**, cuando hay cambio de célula y de controlador de estaciones base (RB), pero ambos RBs dependen de la misma central de conmutación móvil (MTSO); y, finalmente,
- **Handover entre MTSOs**, cuando hay cambio de célula y ambas células dependen de distintas MTSOs.

A.1.1.4.2 Localización

Se le conoce con el nombre de localización (*locating*) al proceso de monitoreo de la calidad de la señal, y a la recomendación de cambio de canal, si es necesario. La localización sirve para conservar la señal desde y para una unidad móvil en un nivel alto fuera de los alrededores de la célula, para que otras estaciones móviles activas no tengan canales encimados o canales muy pegados, lo que significaría interferencia. La función de la localización es pretender conservar una interferencia mesurada, nivel de señal o rango aceptables. En estos casos el análisis de la información recibida por la central de cómputo determina cuando un canal cambia y/o una célula requiere un handoff.

A.1.1.4.3 Voceo y Acceso:

El proceso en el cual se determina la disponibilidad del móvil para recibir una llamada entrante es conocida como **voceo** (*paging*). La función de empezar una llamada, realizada por la unidad móvil se llama **acceso** (*access*). El voceo y el acceso son funciones que utilizan canales especiales llamados "arreglos (*setup*) de canales". Cuando la potencia es aplicada a una unidad móvil, éste examina un determinado conjunto de canales de control y escoge el más fuerte de ellos en el cual pueda leer un mensaje. Para este mensaje el móvil determina si éste está en su "casa" (*home*) y recupera información descriptiva acerca del sistema local.

En el sistema de inicio (*start-up*) la función de voceo y acceso son combinadas con un simple arreglo de canales. Sin embargo, en diferentes canales de voz siempre radian omnidireccionalmente. Mientras el sistema crece la separación del voceo y el acceso en diferentes canales se torna beneficiario al controlar la interferencia por la función del voceo.

Las funciones de voceo y acceso son combinadas en el mismo conjunto de canales de control dúplex, cuando se utilizan células grandes con antenas omnidireccionales. Mientras que el sistema crezca, más arreglos de canales son requeridos para conducir las funciones de acceso. Las antenas omnidireccionales siguen conduciendo la función de voceo. Finalmente, el proceso de voceo y acceso suelen verse separados cuando la primer célula es dividida.

A.1.2 Componentes Básicos de un Sistema Celular Móvil

En la figura A.5, se muestra una visión general de la Red Celular Móvil. Existen cuatro elementos principales:

1. Estación Móvil
2. Estación Base
3. Central de Conmutación Móvil
4. Red Telefónica de Conmutación Pública

cada uno de estos elementos se describen a continuación.

A.1.2.1 Estación Móvil

La Estación Móvil (*MS*) constituye la interfaz entre el suscriptor móvil y la estación base. Además, de la comunicación de voz la MS también realiza las funciones de control y señalización, siendo estas normalmen-

normalmente realizadas por un microprocesador. La unidad móvil es capaz de sintonizar, bajo el comando del sistema, cualquier canal en el espectro de frecuencias asignado al sistema. Cada canal comprende un par de frecuencias para realizar una conversación de dos maneras. Los mensajes de control son transmitidos en una forma digital y pueden ser enviados a través de canales de voz o de señalización, dependiendo de la tarea a ser realizada. Los niveles de potencia del transmisor también pueden ser controlados por el sistema.

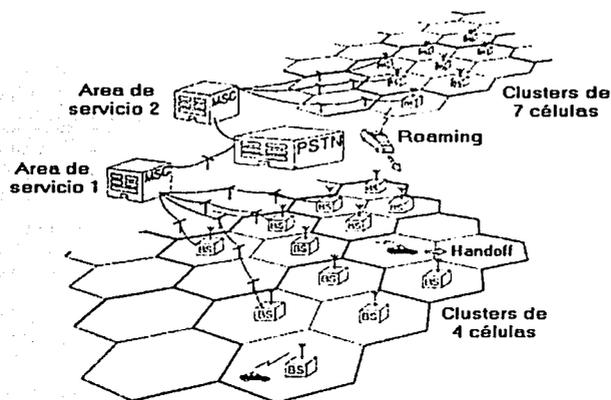


Figura A.5: Visión general de una red celular móvil.

Cada llamada de una unidad móvil proporciona la identificación del suscriptor y los dígitos marcados. Para proporcionar una mayor eficiencia en el uso de los canales, los dígitos son primero almacenados en la memoria del teléfono y, cuando el número a marcar está completo, estos son enviados, iniciando la comunicación con la estación base. La estación móvil consiste de dos elementos: el aparato (*set*) telefónico y el aparato de radio.

- El aparato telefónico provee el contacto entre el suscriptor y el sistema. Está montado cerca del asiento frontal del automóvil, donde el conductor pueda tener un acceso cómodo y seguro a éste. El aparato telefónico incluye un microteléfono, teclado, display y algunos tipos de señales (o tonos) de alarma. Además, es posible tener también alguna clase de altavoz tal que el conductor no necesite usar el microteléfono mientras conduce.
- El aparato de radio consta de dos distintas piezas de equipo: el mismo radio y el control. El radio trata con todas las frecuencias disponibles en el sistema en un modo full-dúplex. El transmisor provee una potencia de salida arriba de 10 W (aproximadamente), siendo este nivel de potencia controlado por el sistema. Éste transmite tanto señales de voz y datos, que, en los sistemas analógicos, experimentan diferentes tipos de modulación. El receptor hace la demodulación de las señales de voz y datos. El control es una unidad lógica con un microprocesador, el cuál administra el control de tareas dentro de la unidad móvil.

A.1.2.2 Estación Base

Las estaciones base son responsables de atender las llamadas o de localizar a las unidades móviles en sus respectivas células. Estas son conectadas a la central de conmutación móvil vía enlaces terrestres. Las estaciones base consisten de dos elementos: el radio y el control. El radio consta de transmisores, receptores,

torres y antenas. El control es una unidad de microprocesador responsable del control, monitoreo y supervisión de las llamadas. La asignación y reasignación de los canales a las unidades móviles pueden ser llevadas a cabo por la estación base. Además, la estación base monitorea los niveles de señal recomendables para realizar la transferencia de llamada (*handoff*).

A.1.2.3 Central de Conmutación Móvil

La central de conmutación móvil (MSC) es una central telefónica especial para reunir los servicios celulares. Ésta trabaja como un controlador central, conectando las unidades móviles y la red de telefonía fija. La MSC usa señalización telefónica estándar y es equivalente a una central telefónica local de clase 5.

El número de células conectadas (por el controlador) a una MSC varía de acuerdo a las necesidades. Una MSC puede ser responsable de una grande área metropolitana o de un pequeño número de pequeñas ciudades vecinas. El área servida por una MSC se le conoce como *área de servicio*. El subscriptor móvil dentro de un área de servicio se llama subscriptor de casa (*home*), mientras que, para el usuario que se mueve de un área de servicio a otra se le llama subscriptor vagabundo (*roamer*). Las principales tareas realizadas por una MSC incluyen el *voceo* (*paging*), localización (*locating*) y transferencia de llamada. Además, ésta realiza funciones de una ordinaria central telefónica de conmutación digital tal como señalización, conmutación, conversión A/D de los circuitos de audio (en los sistemas analógicos), detección de estado de gancho encendido y apagado (*on-hook /off-hook*), etc.

Las comunicaciones entre las estaciones base y la MSC son usualmente llevadas a cabo a través de líneas terrestres que proporcionan rutas para la transmisión de señales de voz y datos. Además, la MSC es también conectada a la red telefónica fija por medio de enlaces terrestres.

A.1.2.4 Red Telefónica de Conmutación Pública

La red telefónica de conmutación pública (*PSTN*) trata a las centrales de conmutación móvil como ordinarias centrales telefónicas fijas. Esto no se muestra en la figura A.5, pero los sistemas celulares tienen una central de control donde algunas operaciones e información son centralizadas.

Este centro de control puede ser localizado en una de las centrales de conmutación móvil. Esta contiene la principal base de datos de todo el sistema y realiza las siguientes funciones: administración del registro de llamada, análisis de tráfico, administración de la red, mantenimiento, configuraciones de equipo, etc.

A.1.2.5 Área de servicio

El área servida por una MSC se le conoce como *área de servicio*. El sistema debe servir a una área tan grande como sea posible. Sin embargo, debido a las configuraciones irregulares del terreno, usualmente no es práctico cubrir el 100% del área de servicio, por dos razones:

- a) La potencia transmitida tendría que ser muy alta para iluminar con suficiente recepción los lugares débiles, esto significa un costo agregado al sistema.
- b) Al tenerse una muy alta potencia de transmisión, es muy difícil el control de la interferencia.

Usualmente, los sistemas logran cubrir el 90% del área de servicio en un terreno plano y el 75% en terrenos montañosos. Los criterios de calidad de voz y de cobertura pueden ser ajustados según sean las condiciones del terreno.

A.1.2.6 Roaming

Cada una de las compañías que operan comunicaciones personales proporcionan servicios en una área geográfica específica. El área puede ser local o nacional. Un subscriptor que entra en el área de servicio que opera otra compañía es un *vagabundo o roamer*. Al subscriptor vagando le gustaría obtener, convenientemente, todos los servicios de comunicaciones disponibles a los de su propia área de servicio. La posibilidad de hacerlo requiere de tecnología para coordinar las operaciones del sistema de casa y del sistema visitado, además de, establecer arreglos de negocios entre los dos proveedores de servicio.

A.1.3 Diseño celular

A.1.3.1 Geometría celular hexagonal

Para lograr una completa cobertura en una determinada área de servicio, se requiere una serie de polígonos regulares para los sitios de la célula. Como ya se mencionó, cualquier polígono regular, como un triángulo equilátero, un cuadrado, o un hexágono, puede usarse para el diseño de la célula. Se emplea un polígono hexagonal por dos razones: primero, un esquema hexagonal requiere menos células y por consiguiente menos sitios de transmisores y segundo, un esquema de célula hexagonal es menos caro en comparación a un esquema de células cuadradas y triangulares.

Para un arreglo hexagonal los ejes (u , v) se eligen tal que sus porciones positivas se cruzan en un ángulo de 60° (Figura A.6), y la unidad de distancia es $\sqrt{3} R$. Entonces, la distancia entre dos puntos (u_1, v_1) y (u_2, v_2) es dada por

$$D^2 = i^2 + j^2 \quad (\text{A-2})$$

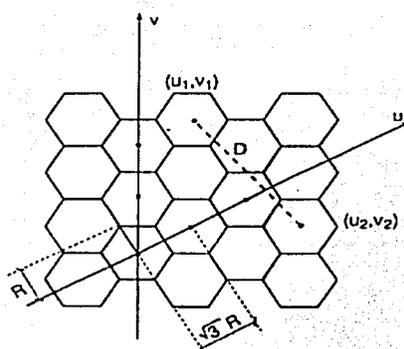


Figura A.6: Geometría celular hexagonal

A.1.3.2 Número de células por cluster (Distancia de reuso de frecuencia, D , y razón D/R)

El número de células en cada cluster tiene que ser determinado de manera que pueda repetirse de forma no interrumpida en el área de cobertura. Solamente algunas configuraciones lo permiten. El número de células en cada cluster tiene significativa importancia en la capacidad total del sistema.

Cuanto menor es el número de las células, mayor es el número de canales por célula y, en consecuencia, el tráfico es más alto. Sin embargo, debe buscarse el punto de equilibrio. Si se utilizan más canales por célula y

el tamaño del cluster es menor (menos células), la distancia entre las células que utilizan los mismos canales es menor, con la consecuencia de que la interferencia entre clusters adyacentes aumenta (interferencia cocanal).

Para la obtención del número de células (N) que integran a un cluster se puede recurrir a dos métodos. El primero consiste en asumir que un cluster tiene una forma hexagonal, por tal, si consideramos que a y A son las áreas de la célula y del cluster, respectivamente. El área a es entonces

$$a = \frac{3\sqrt{3}}{2} R^2 = \frac{\sqrt{3}}{2} D^2 \quad (A-3)$$

Si la distancia entre los centros de dos células cocanales es D , y si elegimos a estas dos células como los centros de los clusters hexagonales correspondientes. Ahora el área A es

$$A = 3\sqrt{3} \left(\frac{D/2}{\cos 30^\circ} \right)^2 \frac{1}{2} = \sqrt{3} \frac{D^2}{2} \quad (A-4)$$

El número de células por cluster es obviamente

$$N = \frac{A}{a} = D^2 \quad (A-5)$$

Un segundo método, para la obtención de N emplea la ecuación $D^2 = i^2 + ij + j^2$, así de forma equivalente:

$$N = i^2 + ij + j^2 \quad (A-6)$$

Debido a que i y j son números enteros, el cluster sólo podrá acomodar cierto número de células, tal como 1, 3, 4, 7, 12, 13, 16, 19, 21,.... Los patrones más comunes de configuración de sistemas celulares son los de 7 y 12 células. En la figura A.7 se muestran estos patrones y la forma hexagonal hipotética de los correspondientes clusters.

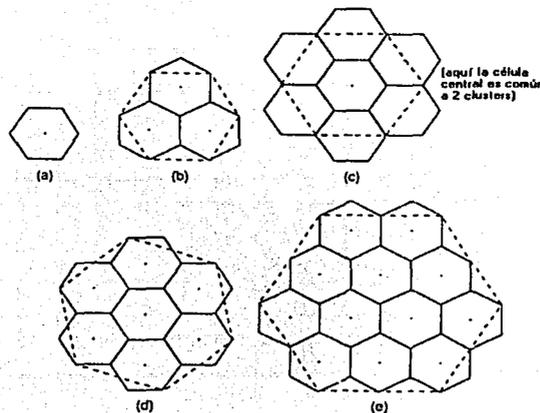


Figura A.7: Patrones comunes de configuración celular: (a) cluster de 1 célula; (b) cluster de 3 células; (c) cluster de 4 células; (d) cluster de 7 células; (e) cluster de 12 células.

Un parámetro importante de un esquema celular es la relación D/R , conocida como la *relación de reuso cocanal*.

Esta relación indica tanto la calidad de la transmisión, como la capacidad de tráfico. En cuanto a la transmisión, la relación D/R da una indicación de las estadísticas de interferencia cocanal: una relación más alta indica un más bajo potencial de interferencia.

Por lo que respecta a la capacidad de tráfico, la relación D/R también puede dar una medida de la evaluación del desempeño. Esto se ve rápidamente si nosotros expresamos la relación como una función del número de células por cluster. Usando las ecuaciones siguientes,

$$\frac{D}{R} = \frac{\sqrt{N}}{\left(\frac{1}{\sqrt{3}}\right)} = \sqrt{3N} \quad (A-7)$$

El tener muy pocas células por cluster (o, equivalentemente, la más pequeña relación D/R), un número muy grande de canales por célula, es decir, una densidad más alta de canales corresponden a una mayor capacidad de transporte de tráfico. Se puede observar que la calidad de la transmisión y la capacidad de tráfico trabajan en direcciones opuestas (vea figura A.8). Es más, un muy pequeño tamaño de cluster, implica tener un costo más bajo en el sistema. La determinación de la relación D/R es entonces un intercambio (*trade-off*) entre estos factores y obviamente, puede encontrarse un punto intermedio tal que un grado razonable de servicio puede ser cumplido.

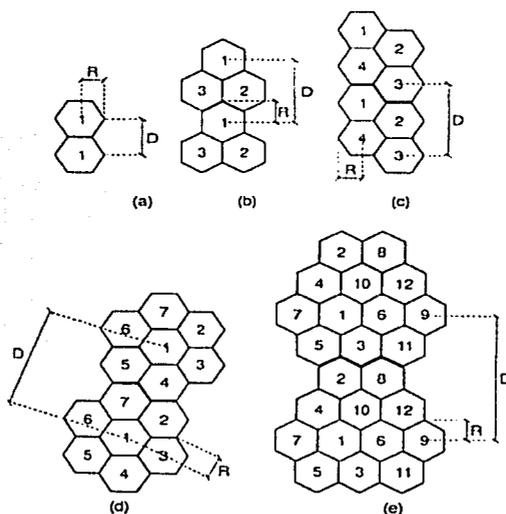


Figura A.8: Separación entre células cocanales para diferentes tipos de clusters: (a) cluster de 1 célula; (b) cluster de 3 células; (c) cluster de 4 células; (d) cluster de 7 células; (e) cluster de 12 células.

Asumiendo, por ejemplo, que el número total de canales en el sistema es de 360. Entonces, en la tabla A.9 se ilustra el comportamiento del desempeño de los clusters para diferentes tamaños.

A.1.4 Técnicas de Expansión de Sistemas

Una de las muchas ventajas de la arquitectura celular es su capacidad de crecimiento modular. Al principio un sistema esta constituido de células hexagonales de radios lo más grande posibles. Como la demanda del

servicio crece, el sistema tenderá a absorber los nuevos usuarios hasta un límite donde todavía pueda ofrecer una buena calidad de servicio. Si la calidad del servicio es inicialmente alta, está pudiera aceptar un incremento en la carga de tráfico y permitir una degradación en el desempeño del sistema, pero aún dentro de niveles aceptables. Esto, de hecho, constituye una manera conveniente de permitir al sistema adaptarse a un repentino crecimiento en la demanda de tráfico. Sin embargo, esta adaptación es sólo eficaz en una base a corto plazo, porque cualquier crecimiento adicional puede causar una degradación desastrosa. A continuación se describen dos de las técnicas empleadas para este fin.

Tabla 1.9: Comportamiento en el desempeño de los clusters de diferentes tamaños.

Tamaño de cluster	D/R	Canales por célula	Capacidad de tráfico	Calidad de transmisión
1	1.73	360	La más alta	La más baja
3	3.00	120	↑	↓
4	3.46	90		
7	4.58	51	La más baja	La más alta
12	6.00	30		

A.1.4.1 División celular

La división celular es una técnica cuyo objetivo es la reducción del tamaño de las células grandes mediante la división de estas en un número de células pequeñas. Debido a la reducción en el tamaño de las células, más células por área estarán disponibles con un consecuente incremento de canales en tal área y un incremento en la capacidad de tráfico.

La reducción del radio se presenta por un factor K que reduce el área de cobertura e incrementa el número de estaciones base por un factor de K^2 . Es recomendable elegir un adecuado factor K tal que puedan coexistir células de diferentes tamaños, y además puedan usarse las viejas estaciones base. La figura A.10 describe dos etapas de la división celular.

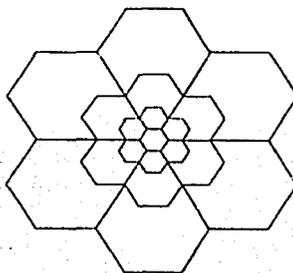


Figura A.10: División celular en dos etapas.

La división celular normalmente toma lugar en el punto medio del área congestionada. La mayor división puede ocurrir hasta alcanzar el tamaño mínimo del radio de la célula. Este tamaño mínimo es determinado tomando en cuenta:

- 1) la distancia mínima de reuso cocanal que pudiera ser alcanzada mientras se mantiene los objetivos de calidad de voz;
- 2) el problema de sitio de las estaciones base; y
- 3) los aspectos económicos.

A.1.4.2 Sectorización

En teoría, el proceso de división celular pudiera ser llevado a cabo indefinidamente. En la práctica, sin embargo, existen algunas limitaciones obvias:

1. Como la distancia entre las células se reduce, la interferencia cocanal se incrementa, aunque se mantiene la repetición del mismo patrón.
2. El encontrar una localización conveniente para la estación base pudiera llegar a ser una tarea difícil, debido a que la tolerancia de la ubicación es también pactada.
3. El costo total del sistema se incrementa debido a que el número requerido de estaciones base se incrementa.

Una alternativa a la división celular es la *sectorización*. Esta técnica consiste en dividir a la célula en un número de sectores, cada uno de los cuales es servido por un diferente juego de canales e iluminado por una antena direccional. El sector, por consiguiente, puede ser considerado como una nueva célula. Los arreglos más comunes son los de tres y seis sectores por célula.

Las estaciones base pueden ser localizadas ya sea en el centro o en la esquina de la célula. El primer caso es llamado como *células con excitación central* y el segundo como *células con excitación de esquina*.

De hecho, no existe diferencia entre los sistemas concebidos de una u otra manera. Estas dos aproximaciones se muestran en la figura A.11, donde las líneas punteadas del dibujo representan el lóbulo principal de una antena direccional hipotética.

El uso de antenas direccionales substancialmente disminuye la interferencia cocanal, permitiendo de este modo que las células estén más cercanamente espaciadas. El hecho de que las células estén más cerca implica una relación D/R más pequeña, correspondiendo a un número más pequeño de células por cluster. En otras palabras, más canales por célula pueden ser usados, correspondiendo a una más alta capacidad, debido a que el número total de canales disponibles en el sistema es constante. La sectorización es entonces muy atractiva debido a que esta permite al sistema crecer con una inversión reducida en comparación con la técnica de división celular.

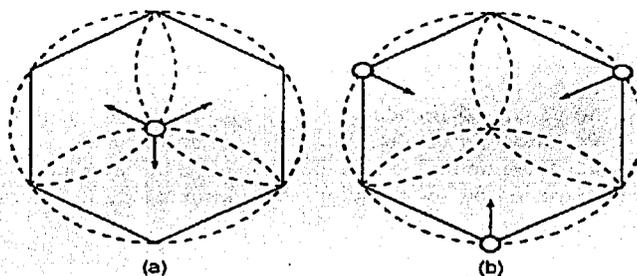


Figura A.11: Localización de las antenas direccionales (las líneas punteadas representan el contorno aproximado del lóbulo principal de una antena direccional real): (a) célula con excitación central; (b) célula con excitación en la esquina.

A.1.5 Técnicas de Asignación de Canales

El uso eficiente de los canales determina el buen desempeño de los sistemas y se puede obtener por diferentes técnicas de asignación de canales. Las principales técnicas de asignación de canales se describen a continuación.

A.1.5.1 Asignación fija de canales

En esta técnica un subconjunto de los canales disponibles en el sistema es asignado a cada célula. El mismo subconjunto es reasignado a una célula con la distancia de reuso requerida (para evitar interferencia cocanal). Si todos los canales están ocupados en una célula la llamada es *bloqueada*. Cuando el tráfico prolifera es bien conocido, que la asignación de los canales puede ser optimizada para dar un mejor desempeño del sistema. Sin embargo, cualquier variación inesperada de tráfico puede causar disturbios.

A.1.5.2 Asignación dinámica de canales

Este algoritmo, de hecho, comprende un número de estrategias con la característica común de que todos los canales en el sistema están disponibles para todas las células. La asignación se lleva a cabo de acuerdo a la demanda dinámica de tráfico de los subscriptores. Este algoritmo puede arreglárselas con la variable espacial no uniforme de distribución de tráfico, pero da resultados pobres con carga alta.

A.1.5.3 Asignación híbrida de canales

Esta técnica es una combinación de las dos técnicas anteriores. Cada célula tiene un porcentaje fijo de canales preasignados, mientras que el resto de los canales son asignados dinámicamente. El desempeño depende entonces tanto de la distribución de tráfico como también de la proporción de canales fijos a dinámicos.

A.1.5.4 Asignación de canales prestados

En este caso, una célula que tiene todos sus canales ocupados y busca un canal libre en las células vecinas. Si no hay canales disponibles, entonces la llamada es bloqueada. Es posible mejorar esto "obligando" el préstamo de un canal libre a la célula adyacente, aún cuando esta célula este bloqueada. Esta célula bloqueada, por su parte, obligará un préstamo de otra célula y así sucesivamente.

A.1.6 Control

Similar a cualquier otra red de comunicaciones, los canales de radio móvil necesitan manejar transmisión de datos, por lo menos para propósitos de señalización. Hay dos maneras de transmisión de datos: (1) usando los canales de voz o (2) usando canales dedicados. En el primer método, cuando el canal no esta ocupado con una transmisión de voz, entonces se inserta un tono inactivo, en el canal, para indicar su disponibilidad para la transmisión de datos. En el segundo método, un porcentaje de la cantidad total de canales de radio es usada exclusivamente para la transmisión de señalización. A continuación, se da una descripción de dos tipos de canales de control.

A.1.6.1 Control sobre canales de señalización

La proporción de canales de señalización puede variar de acuerdo a la capacidad del sistema. Un sistema requiere al inicio un número pequeño de estos canales dedicados, y este número se incrementa conforme el sistema se expande. La asignación de los canales a sus funciones correspondientes varía de acuerdo con la red. En el sistema AMPS estos canales de señalización son divididos en tres grupos: (1) canales de control dedicado (CC), (2) canales de voceo (PC), y (3) canales de acceso (AC).

Los canales de control dedicado son comunes a todas las unidades móviles a lo largo del sistema. Cada unidad móvil es programada para sintonizar uno de los canales de control, de hecho, el más fuerte. Los canales de control dedicado llevan mensajes que dan información específica sobre el sistema. Los mensajes incluyen la identificación del área de servicio, el número de canales de voceo (*paging*) disponibles, etc. Los

canales de voiceo son principalmente usados para buscar a una unidad móvil. Los PCs transmiten el número de identificación del suscriptor llamado, sobre toda el área de servicio (el móvil es "voceado"). Los PCs también llevan el número de canales de acceso en aquella región. Estos canales son usados cuando una unidad móvil quiere iniciar una llamada. Cada canal de acceso tiene un bit de activo/inactivo que indica su disponibilidad para ser usado.

A.1.6.2 Control sobre canales de habla

Los canales de habla (*speech channels*) también deben llevar alguna clase de información de señalización, tal que la conversación establecida este bajo control. Si suponemos, por un instante, que una unidad móvil esta moviéndose de una célula a otra. ¿Cómo se lleva a cabo la transferencia de llamada?, ¿cómo se lleva a cabo el monitoreo de la energía de la señal transmitida? y ¿cómo se detecta los estados de gancho (*on-hook/off-hook*)?

Estas tareas de control son proporcionadas por medio de tonos de supervisión, que se insertan en alguna parte sobre la banda de voz de los canales de habla. El sistema AMPS usa: (1) el tono de señalización (*ST*), y (2) el tono de audio de supervisión (*SAT*).

- El **tono de señalización** es un tono (de la unidad móvil a estación base) de 10 kHz usado en forma de ráfagas para la desconexión, alarma, transferencia de llamada y el encendido (*flashing*).
- El **tono de audio de supervisión** comprende un juego de tres tonos continuos (6 kHz y 6 kHz \pm 30 Hz). Sin embargo, solo una frecuencia es usada por la estación base de un cluster dado. Los clusters vecinos emplean uno de los dos tonos restantes. Este esquema de asignación asegura un control de supervisión más adecuado debido a que la interferencia es grandemente reducida. Los cocanales que usan el mismo tono de supervisión son separados lo más lejos uno del otro. En términos efectivos, hasta donde la supervisión interesa, el tamaño del cluster es múltiplo de 3, y, por consiguiente, la relación de reuso D/R se incrementa por 3. El tono de audio de supervisión es continuamente enviado de la estación base a la unidad móvil, la cuál, lo regresa hacia la estación base. Si el tono recibido difiere del tono que ha sido enviado, alguna clase de interferencia pudo haber ocurrido. Si ningún tono es regresado, una de dos la unidad móvil esta desapareciendo (*fading*) o su transmisor está apagado.

Finalmente, los canales de habla también pueden transmitir mensajes de datos mientras la unidad móvil tiene una conversación, esto ocurre, durante un instante en el proceso de transferencia de llamada.

A.1.7 Operaciones de un Sistema Celular

El sistema celular no requiere que el usuario presione algún botón de ajuste durante una llamada. La operación puede ser descrita en siete etapas diferentes, más un procedimiento de transferencia de llamada.

A.1.7.1 Iniciación de la unidad móvil

Cuando la unidad móvil es encendida, el receptor examina los 21 canales del arreglo, selecciona el más grande y se bloquea por un cierto tiempo. Puesto que cada célula es asignada con un arreglo diferente de canales, el cerrar o bloquear (*locking*) el canal más potente significa elegir la célula más cercana. A este esquema se le llama de localización (*self-location*), y es usado en la etapa inactiva. Cada 60 segundos, el procedimiento de localización se repite. Esta repetición es necesaria debido al movimiento del vehículo. Una nueva célula, la más cercana, puede ser determinada después de 60 segundos.

A.1.7.2 Llamada de una unidad móvil a un suscriptor fijo

Cuando el usuario quiere hacer una llamada, un número se pone en un registro creado en la unidad móvil. Cuando el botón de "envió" es oprimido, una petición de servicio es enviada sobre un canal preseleccionado del arreglo. El receptor tiene que verificar si el canal del arreglo está inactivo o no, examinando el bit "activo" o "inactivo" en el canal del arreglo enviado. La célula recibe la petición de servicio y a su vez envía una petición a la oficina de conmutación de telefonía móvil (MTSO) vía un enlace de datos. La MTSO selecciona un canal de voz apropiado dentro de un grupo de canales de voz asignados y notifica a la célula; entonces, la célula informa a la unidad móvil. Al mismo tiempo, la MTSO también enlaza al teléfono fijo a través de la oficina central de la compañía telefónica.

A.1.7.3 Llamada de un suscriptor fijo a una unidad móvil

Cuando un suscriptor fijo marca un número de una unidad móvil, la compañía telefónica reconoce el número de la unidad móvil y envía este a la MTSO.

La MTSO, entonces, envía un mensaje de voceo a ciertas células dependiendo del número móvil. El voceo es necesario en la célula ya que la MTSO no sabe dónde está la unidad móvil, debido al esquema de localización usado por la unidad móvil. Cada célula transmite la señal de voceo en su propio canal asignado dentro del arreglo. La unidad móvil reconoce su número sobre el canal más potente del arreglo durante la etapa inactiva, y responde a la célula en particular. Además, la unidad móvil sigue el mensaje para sintonizar el canal de voz asignado, en este momento, la unidad móvil alerta al usuario.

A.1.7.4 Llamada de una unidad móvil a otra unidad móvil

La llamada más fácil que una MTSO puede dirigir es la realizada de una unidad móvil a otra, en la misma área de servicio. La MTSO recibe los dígitos marcados del teléfono a llamar, si determina que se trata de otra unidad móvil, entonces dirige la llamada a la unidad móvil receptora a través de la célula apropiada. Para este caso, no fue necesaria la interconexión con la red telefónica de conmutación pública (PSTN).

A.1.7.5 Terminación de llamada

Cuando el usuario móvil termina una llamada, un tono de señal especial (10 kHz) es transmitido a la célula por el canal de voz libre. La unidad móvil continúa su estado de inicialización.

A.1.7.6 Bloqueo de llamada

Si durante una etapa de la llamada de una unidad móvil a un suscriptor fijo todos los canales de voz asignados a la célula más cercana están ocupados, entonces la llamada de una unidad móvil a un suscriptor fijo se repite cada 100 ms. Después de diez intentos, un tono de ocupado es encendido para informar al usuario que no existe un canal disponible para realizar la llamada.

A.1.7.7 Realización de llamada

Después de que una llamada de una unidad móvil a un suscriptor fijo o de un suscriptor fijo a unidad móvil es realizada, el canal de voz es asignado para hacer una conexión de llamada. A este proceso se llama "realización de llamada".

A.1.7.8 Caída de llamada

Durante una conversación, debido a interferencia o ha sitios de señal débil en ciertas áreas, si la célula no puede recibir un tono de supervisión de audio "SAT" asignado (generado en la célula y enviado de regreso

por la unidad móvil) en 5 segundos, la célula apagará el transceptor y por tal se interrumpirá la comunicación.

A.1.7.9 Procedimiento de transferencia de llamada

Durante una conversación si una unidad móvil se mueve fuera del alcance de una célula y entra dentro del alcance de otra célula empleando un canal de voz, este canal de voz tiene que cambiarse de un canal de frecuencia a otro. El sistema puede hacer este procedimiento de transferencia de llamada sin interrumpir la llamada o alertando al usuario. El proceso de transferencia de llamada (*handoff*) es la única función estando en operación el sistema celular. El nivel del umbral de la señal fijado para un *handoff* no puede ser demasiado alto, o habrá muchos *handoffs* innecesarios. Sin embargo, si el nivel del umbral es demasiado bajo, provocará caídas de llamadas.

A.2 TECNICAS DE ACCESO MULTIPLE Y TECNICAS DE DUPLEXACION

A.2.1 Acceso Múltiple

Uno de los puntos más importantes en un sistema móvil, como la telefonía celular, es cómo se accesa al medio de comunicación. A estas técnicas se les conoce como "acceso múltiple". Múltiple significa que muchos usuarios pueden conversar simultáneamente. Es decir, una gran cantidad de suscriptores en un servicio móvil comparte un conjunto de canales de radio y cualquier usuario puede contender para acceder a cualquiera de los canales disponibles.

Un canal puede verse como una porción del espectro radioeléctrico, el cual se asigna temporalmente para un propósito específico, tal como una llamada telefónica. Una técnica de acceso múltiple define cómo se divide el espectro de frecuencias en canales y cómo los canales son asignados a los múltiples usuarios en el sistema. Visto de otra manera: seleccionar una técnica eficiente de acceso múltiple significa que los operadores telefónicos (*carriers*) obtendrán más ganancias al acomodar más usuarios en sus redes inalámbricas.

El acceso múltiple se refiere a la compartición de una fuente común (el espectro de radiofrecuencia) con el fin de permitir comunicaciones simultáneas por múltiples usuarios, sin interferirse. Sin las técnicas de acceso múltiple, las comunicaciones entre dispositivos serían un caos.

Existen tres tipos de técnicas de acceso básicas: Acceso Múltiple por División de Frecuencia (*FDMA*), Acceso Múltiple por División de Tiempo (*TDMA*) y Acceso Múltiple por División de Código (*CDMA*).



A.2.1.1 Acceso Múltiple por División de Frecuencia (FDMA)

A cada usuario individual se le asigna una frecuencia particular en la cual se lleva a cabo la transmisión (ver figura A.12).

A.2.1.1.1 Características básicas:

- SCPC (*single channel per carrier*; un solo canal por usuario).

- Transmisión continua.
- Ancho de banda angosto.
- Interferencia intersímbolo baja.
- Pocos encabezados.
- Hardware simple.
- Requieren del uso de duplexores.
- Altos costos de las estaciones base.
- Handoff perceptible.

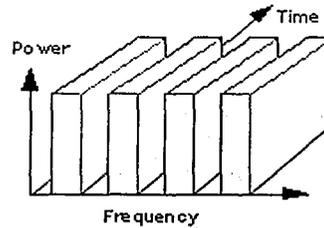


Figura A.12: Esquema FDMA.

A.2.1.1.2 Aplicaciones:

- En la actualidad, es la manera en que los organismos reguladores dividen el espectro.
- Los sistemas AMPS asignan un canal de frecuencia a cada usuario.

A.2.1.1.3 Ventajas:

- No se requiere ecualización de canal debido a que los canales operan dentro del ancho de banda de coherencia.
- La tecnología involucrada es bien conocida.
- Es compatible con los sistemas analógicos existentes.

A.2.1.1.4 Desventajas:

- Las terminales son costosas debido a que se requieren filtros de banda angosta.
- La tasa de transmisión de bits es fija.

A.2.1.2 Acceso Múltiple por división de Tiempo (TDMA)

Todos los usuarios comparten la misma frecuencia, pero cada uno es asignado a una ranura de tiempo única, en este caso la división de los usuarios ocurren en el dominio del tiempo (ver figura A.13).

A.2.1.2.1 Características básicas:

- Múltiples canales por portadora.
- Transmisión por medio de ranuras de tiempo.
- Ancho de banda angosto o amplio.
- Alta interferencia intersímbolo.
- Alta cantidad de encabezados.
- Hardware complejo.
- No emplea duplexores.
- Bajo costo de las estaciones base.
- Handoff eficiente.
- Eficiente utilización de la potencia.
- Minimización de los productos de intermodulación.

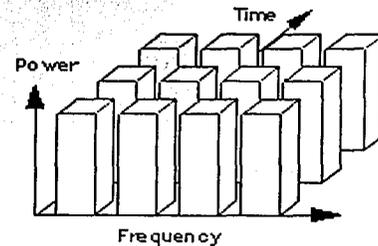


Figura A.13: Esquema TDMA.

A.2.1.2.2 Aplicaciones:

- En los sistemas telefónicos, 30 llamadas telefónicas son multiplexadas para formar un enlace E1.
- En IS-136 se combinan 3 ranuras de tiempo en un canal.
- En GSM se combinan 8 ranuras de tiempo en un canal.

A.2.1.2.3 Ventajas:

- La ecualización de canal puede emplearse para combatir los desvanecimientos rápidos.
- La tasa de transmisión de bits puede ser variable.
- La intensidad de señal y el BER (*bit error rate; tasa de bits erróneos*) pueden ser monitoreados, facilitando y acelerando los procesos de handoff.

A.2.1.2.4 Desventajas:

- Se requiere de una alta potencia en enlace ascendente.
- Se requiere una cantidad considerable de procesamientos de la señal.
- El alto consumo de potencia, induce retardos en la señal.

A.2.1.3 Acceso Múltiple por División de Código (CDMA)

Todos los usuarios comparten la misma frecuencia (en este caso de banda ancha) al mismo tiempo (ver figura A.14), utilizando códigos para distinguirse, siendo todas las señales ortogonales entre sí.

A.2.1.3.1 Características básicas:

- Calidad excepcional de voz y comunicación
- Mayor capacidad
- Menor consumo de energía
- Menos llamadas interrumpidas
- Más extensa cobertura
- Seguridad y privacidad
- Mejoras en los servicios
- Flexibilidad
- Implementación rápida
- Calidad de servicio

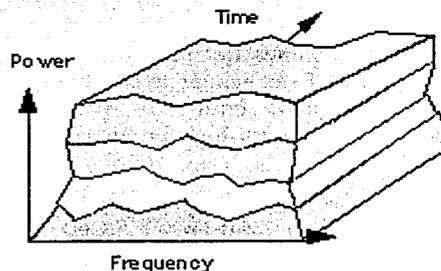


Figura A.14: Esquema CDMA.

A.2.1.3.2 Aplicaciones:

- Estándar celular IS-95.

A.2.1.3.3 Ventajas:

- La densidad espectral es reducida.

- Ofrece protección contra la congestión.
- Ofrece privacidad en los mensajes.
- Los efectos de multitrayectoria son minimizados.

A.2.1.3.4 Desventajas:

- No ha sido probado en condiciones de alta demanda

A.2.1.4 Diferencias entre FDMA, TDMA Y CDMA

- FDMA y TDMA requieren un patrón de reuso, y CDMA no.
- FDMA permite sólo un usuario por canal, TDMA permite 3 u 8, dependiendo de la tecnología, y en CDMA no hay un número límite de usuarios.
- CDMA puede soportar de 12 a 16 veces más usuarios que FDMA o TDMA.
- CDMA es más resistente a la interferencia, y menos susceptible a ser rastreada.
- CDMA es más resistente a los desvanecimientos.

A.2.2 Técnicas de Duplexación

A.2.2.1 Duplexación por División de Frecuencia (FDD)

Cada dirección de transmisión (enlace ascendente y descendente) tiene una banda de frecuencia separada. Consecuentemente, es posible una transmisión simultánea en ambas direcciones. Se deben emplear filtros para reducir la interferencia de canal adyacente.

A.2.2.2 Duplexación por División de Tiempo (TDD)

Aquí, ambas direcciones de transmisión usan una ubicación de frecuencia contigua, pero dos ranuras de tiempo separadas. Este esquema es conocido como "ping-pong". Como consecuencia, la calidad de la comunicación en ambos sentidos es la misma. Debe emplearse un tiempo de guarda entre las dos ranuras de tiempo, con el fin de evitar interferencias.

BIBLIOGRAFÍA**✓ Libros:**

- **CDMA RF System Engineering**
Samuel C. Yang
Artech House, Inc.
1998
- **Wireless and Personal Communications Systems**
Vijay K. Garg, Joseph E. Wilkes.
Prentice Hall PTR
1996
- **Wideband CDMA for third Generation Mobile Communications**
Tero Ojanperä / Ramjee Prasad editors
Artech House Publishers
1998.
- **The cdma2000 ITU-R RTT Candidate Submission (0.18)**
Steve Dennett
1998 Telecommunications Industry Association (TIA).
- **Mobile Radio Communications -Second and Third Generation Cellular and WATM Systems**
Raymond Steele and Lajos Hanzo
2a Edition
- **Foundations of Mobile Radio Engineering**
Michel Daoud Yacoub
CRC Press. Inc.
1996
- **CDMA IS-95 for cellular and PCD: Technology, application and Resource Guide.**
Harte L.
New York. Mac. Graw-Hill
1997
- **IS-95 and CDMA2000**
Vijay Kumar
Prentice Hall
1999

➤ **Artículos:**

- **Evolución de cdmaOne a sistemas de tercera generación**
Gwenn Larsson
Ericsson Review No. 2, 2000
- **Recent Advances in Cellular Wireless Communications**
M. Zeng, A. Annamalai, and Vijay K. Bhargava, University of Victoria
IEEE Communications Magazine, September 1998
- **Evolution of Wireless Data services: IS-95 to cdma2000**
Douglas N. Knisely, Sarath Kumar, Subhasis Laha, and Sanjiv Nanda
Lucent Technologies
IEEE Communications Magazine, October 1998.
- **An overview of CDMA Evolution Toward Wideband CDMA**
Ramjoc Prasad, Tero Ojanperä
IEEE Communications Surveys, 1998
- **Wideband DS-CDMA for Next Generation Mobile Communications Systems**
F. Adachi, M Saeahashi and H. Suda
IEEE Commun, vol 36 No. 9, Septiembre 1998
- **Harmonization of Global Third-Generation Mobile Systems**
M. Zeng, A. Annamalai, Vijay K. Bhargava
University of Victoria, 1999
- **Toward Third-generation mobile multimedia communication**
Torbjörn Nilson
Ericsson Review No. 3, 1999
- **Operator Vision for IMT-2000 and Beyond. ITU**
Document 8F/365-Edited
ITU-R 229/8 Junio 2001
- **Documento del Grupo de Trabajo 8F-ITU**
8F/268
- **Docs de la XX Reunión del Comité Consultivo Permanente III**
 - CCP/III/doc.2153/ 02, 11 Febrero 2002
 - CCP/III/doc.2152/ 02, 9 Febrero 2002
 - CCP/III/doc.2180/ 02, 14 Febrero 2002
 - CCP/III/doc.1873/ 01, 4 Junio 2001
 - CCP/III/doc.1874/ 01, 5 Junio 2001
- **Doc de la XVIII Reunión del Comité Consultivo Permanente III**
 - CCP/III/doc XXXX31, Mayo 2001

Y Páginas de Internet:*Organismos regulatorios y de estandarización*

- <http://www.cdg.org>
- <http://www.itu.org>
- <http://www.citel.org>
- <http://www.cft.gob.mx>
- <http://www.3gpp.org>
- <http://www.3gpp2.org>
- <http://www.3gpatents.com>
- <http://www.3gip.org/>
- <http://www.gsmworld.com>
- <http://www.umts-forum.org>
- <http://www.ist-wsi.org/>
- <http://www.etsi.org>
- <http://www.ansi.org>
- <http://www.frforum.com>
- <http://www.ieee.org>
- <http://www.comsoc.org>
- <http://www.w3.org>
- <http://www.iec.org>

Proveedores de servicios en México

- <http://www.iusacell.com.mx>
- <http://www.telcel.com>
- <http://www.pegasopcs.com.x>
- <http://www.unefon.com.mx/>
- <http://www.movistar.tsm.es/>
- <http://www.iusa.net.mx>

Fabricantes de equipo

- <http://www.iusa.net.mx>
- <http://www.lucent.com>
- <http://www.nortelnetworks.com>
- <http://www.alcatel.com>
- <http://www.nokia.com>
- <http://www.ericsson.com>
- <http://www.qualcomm.com>
- <http://www.3com.com>
- <http://www.fbcs.fujitsu.com>
- <http://www.omnitronix.com>
- <http://www.net.com>

3G

- <http://www.3g-generation.com>
- <http://www.3gnewsroom.com>
- <http://www.three-g.net>
- <http://www.3glab.com>
- <http://www.3gip.org>
- <http://www.the3gportal.com>
- <http://www.3gtoday.com>
- <http://www.3gsolutions.com>
- <http://www.awardsolutions.com>
- <http://www.tiaonline.org>
- <http://www.imt-2000-online.com>
- <http://www.imt-2000.org>
- <http://www.imt-2000.com>
- <http://www.layeronewireless.com>
- <http://www.protocols.com>
- <http://www.ictnet.es>

Generales

- <http://www.artechhouse.com>
- <http://www.privateline.com>
- <http://www.lec.org>
- <http://www.labtec.com>
- <http://www.cdmaonline.com>
- http://telecom.iespana.es/telecom/telef/cellular_tech.htm
- http://ulises.umh.es/te/docencia/proyectos/trabajo_UMTS/onblur/umts/scm.htm
- http://telecom.fib.unam.mx/Telefonia/Telefonia_Celular2.htm#1.%20Antecedentes
- <http://www.teledes.org>
- http://www.iit.edu/~diazrob/cell_com/cellphones.about.com/cs/technologies/index.htm
- <http://mailweb.udlap.mx/~lgojeda/tutoriales/ie47201/indice.htm>
- <http://neutron.ing.ucv.ve/revista-e/No6/default.htm>
- <http://www.asercom.com.mx/ligas/ligas.htm>
- http://www.cellular.co.za/technologies/cdma/cdma_w_paper.htm
- <http://www.mobilecdma.com>
- <http://www.siriuscomm.com/lamarr.htm>
- <http://www.tapr.org/ss>
- <http://www.amrad.org>
- <http://www.sp.nsp.navy.mil/pansat/pansat.html>
- http://www.aintel.bi.ehu.es/amsat-ea/a_ss/tsld002.htm
- <http://www.mobilenetwork.com>
- <http://www.wca.org/synacom/sld003.htm>