

**ESTUDIO, ANÁLISIS Y SIMULACIÓN DE SISTEMAS DE COMUNICACIONES  
MÓVILES BASADOS EN CDMA**

**CAMILO ERNESTO BOLAÑOS GUERRERO  
ANDRES FERNANDO ESTUPIÑÁN LOPEZ**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA  
FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES  
DEPARTAMENTO DE TELECOMUNICACIONES  
GRUPO I+D GNTT NUEVAS TECNOLOGÍAS EN TELECOMUNICACIONES  
POPAYÁN**

**2004**

ESTUDIO, ANÁLISIS Y SIMULACIÓN DE SISTEMAS DE COMUNICACIONES  
MÓVILES BASADOS EN CDMA

CAMILO ERNESTO BOLAÑOS GUERRERO  
ANDRES FERNANDO ESTUPIÑÁN LOPEZ

UNIVERSIDAD DEL CAUCA  
FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES  
DEPARTAMENTO DE TELECOMUNICACIONES  
GRUPO I+D GNTT NUEVAS TECNOLOGÍAS EN TELECOMUNICACIONES  
POPAYÁN

2004

ESTUDIO, ANÁLISIS Y SIMULACIÓN DE SISTEMAS DE COMUNICACIONES  
MÓVILES BASADOS EN CDMA

CAMILO ERNESTO BOLAÑOS GUERRERO  
ANDRES FERNANDO ESTUPIÑÁN LOPEZ

Trabajo final de grado presentado como requisito  
para optar al título de  
Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones

Director  
ING. VICTOR MANUEL QUINTERO FLOREZ

UNIVERSIDAD DEL CAUCA  
FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES  
DEPARTAMENTO DE TELECOMUNICACIONES  
GRUPO I+D GNTT NUEVAS TECNOLOGÍAS EN TELECOMUNICACIONES  
POPAYÁN

2004

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Ingeniero Víctor Manuel Quintero Florez, director del trabajo de grado, por su colaboración, dedicación y apoyo durante el desarrollo de éste proyecto.

A Dios y a mis padres  
los pilares en los que  
me sustento

Camilo

A Dios por iluminar mi camino,  
a mis padres y hermanos  
por su constante  
dedicación y apoyo

Andrés

## CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	25
1. GENERALIDADES DE LA TECNOLOGÍA CDMA	27
1.1 HISTORIA DE CDMA	27
1.2 CONCEPTOS BÁSICOS DE CDMA	29
1.2.1 Propiedades de las señales de espectro ensanchado	30
1.2.1.1 Capacidad de acceso múltiple	30
1.2.1.2 Protección contra interferencia por multitrayectoria	31
1.2.1.3 Privacidad y seguridad	31
1.2.1.4 Rechazo a la interferencia	31
1.2.1.5 Capacidad anti-sabotaje (antijamming)	32
1.2.1.6 Baja probabilidad de interceptación	32
1.2.2 Clasificación de CDMA según la técnica de espectro ensanchado	32
1.2.3 Arquitectura de los sistemas CDMA	34
1.2.3.1 Arquitectura de IS-95 (2G)	34
1.2.3.2 Arquitectura de cdma2000 1X	36
1.3. EVOLUCIÓN DE CDMA HACIA TERCERA GENERACIÓN	37
1.3.1 cdmaOne: CDMA de segunda generación	38
1.3.1.1 IS-95A	38
1.3.1.1.1 Enlace descendente	39
1.3.1.1.2 Enlace ascendente	39
1.3.1.2 IS-95B	40
1.3.1.2.1 Tasas de datos de usuario soportadas por IS-95B	41
1.3.2 cdma2000 - CDMA de Tercera generación	41
1.3.2.1 cdma2000 1X	41
1.3.2.2 cdma2000 1xEV	42
1.3.2.2.1 cdma2000 1xEV-DO	43
1.3.2.2.1.1 Arquitectura de red de 1xEV-DO	44
1.3.2.2.1.2 Ventajas de 1xEV-DO	44
1.3.2.2.2 cdma2000 1xEV-DV	45
1.3.2.2.2.1 Arquitectura de red de 1xEV-DV	46
1.3.2.2.2.2 Características de 1xEV-DV	46
1.3.2.2.2.3 Ventajas de 1xEV-DV	48
2. NIVEL FÍSICO DE CDMA2000 1X RC3	50
2.1 ENLACE ASCENDENTE (REVERSE LINK)	51
2.1.1 Señales del canal CDMA ascendente (Reverse Channel)	51
2.1.2 Estructura del canal ascendente	51
2.1.2.1 Canales comunes compatibles hacia atrás de cdma2000 1X	52
2.1.2.2 Nuevos canales comunes de cdma2000 1X	52

2.1.2.3	Canales dedicados cdma2000 1X	53
2.1.3	Parámetros de modulación del enlace ascendente	55
2.1.3.1	Velocidades de transmisión de datos	56
2.1.3.2	Corrección de errores directa (FEC, Forward Error Correction)	56
2.1.3.3	Codificación convolucional	57
2.1.3.3.1	Código convolucional de tasa $\frac{1}{4}$	58
2.1.3.4	Repetición de símbolos de código.	58
2.1.3.5	Puncturing	60
2.1.3.6	Entrelazador de bloque (Block interleaving)	60
2.1.3.7	Modulación y ensanchamiento ortogonales.	61
2.1.3.7.1	Modulación ortogonal	61
2.1.3.7.2	Ensanchamiento ortogonal	62
2.1.3.8	Ensanchamiento por secuencia directa	63
2.1.3.9	Ensanchamiento en cuadratura	64
2.1.3.10	Filtraje banda base para SR1	66
2.1.4	Canal fundamental ascendente.	67
2.1.4.1	Tasas de modulación del canal fundamental ascendente.	68
2.1.4.2	Estructura de trama del canal fundamental ascendente	68
2.1.4.3	Indicador de calidad de trama del canal fundamental ascendente.	69
2.1.4.4	Bits de cola de codificador del canal fundamental ascendente.	70
2.1.4.5	Codificación convolucional para el canal fundamental ascendente	70
2.1.4.6	Repetición de símbolos de código del canal fundamental ascendente	70
2.1.4.7	Puncturing del canal fundamental ascendente	70
2.1.4.8	Entrelazado del canal fundamental ascendente	70
2.1.4.9	Modulación del canal fundamental ascendente	70
2.1.4.10	Ensanchamiento en cuadratura para el canal fundamental ascendente	71
2.1.4.11	Filtraje banda base del canal fundamental ascendente.	71
2.2	ENLACE DESCENDENTE (FORWARD LINK)	71
2.2.1	Señales del canal CDMA descendente	71
2.2.2	Estructura del canal cdma2000 1X descendente	71
2.2.2.1	Canales comunes compatibles hacia atrás	72
2.2.2.2	Nuevos canales comunes cdma2000 1X	74
2.2.2.3	Canales dedicados cdma2000 1X	74
2.2.3	Diversidad de transmisión	76
2.2.4	Parámetros de modulación	77
2.2.4.1	Tasas de datos	77
2.2.4.2	Corrección de errores directa (FEC)	77
2.2.4.3	Codificación convolucional	79
2.2.4.4	Repetición de símbolos de códigos	79
2.2.4.5	Puncturing	80
2.2.4.6	Entrelazado de bloque	80
2.2.4.7	Scrambling	81
2.2.4.8	Subcanal de control de potencia descendente	81
2.2.4.9	Demultiplexación de símbolos	82
2.2.4.10	Ensanchamiento ortogonal y cuasi-ortogonal.	83
2.2.4.11	Ensanchamiento en cuadratura	84
2.2.4.12	Filtraje banda base	85
2.2.5	Canal fundamental descendente en RC3	85



2.2.5.1	Tasas de modulación del canal fundamental descendente.	85
2.2.5.2	Estructura de trama del canal fundamental descendente	85
2.2.5.3	Codificación convolucional del canal fundamental descendente	86
2.2.5.4	Repetición de símbolos de código del canal fundamental descendente	86
2.2.5.5	Puncturing del canal fundamental descendente	86
2.2.5.6	Entrelazado del canal fundamental descendente	86
2.2.5.7	Scrambling de datos del canal fundamental descendente	87
2.2.5.8	Ensanchamiento ortogonal y cuasi-ortogonal del canal fundamental descendente	87
2.2.5.9	Ensanchamiento en cuadratura del canal fundamental descendente	87
2.2.5.10	Filtraje del canal fundamental descendente	87
3.	ESTADO DEL ARTE DE LA SIMULACIÓN DE SISTEMAS CDMA	88
3.1	PROYECTOS REALIZADOS A NIVEL INTERNACIONAL	89
3.2	PROYECTOS REALIZADOS A NIVEL NACIONAL	93
3.3	ESTADO DEL ARTE A NIVEL INSTITUCIONAL	94
4.	IMPLEMENTACION DE LA SIMULACIÓN	95
4.1	ENLACE ASCENDENTE MODO TRANSMISIÓN	95
4.1.1	Fuente de datos	96
4.1.2	Codificador ascendente	97
4.1.2.1	Agregador de indicador de calidad de trama	97
4.1.2.2	Agregador de bits de cola	98
4.1.2.3	FEC	98
4.1.2.4	Repetidor	99
4.1.2.5	Puncture	100
4.1.2.6	Entrelazador de bloque	100
4.1.3	Modulador	101
4.1.3.1	Ensanchador ortogonal	101
4.1.3.1.1	Generador de código de Hadamard	102
4.1.3.2	Ensanchador complejo	102
4.1.3.2.1	Generador de secuencias PN en fase y en cuadratura.	103
4.1.3.2.1.1	Generador de secuencias PN	104
4.1.3.2.1.2	Expansión PN	105
4.1.3.2.1.3	Generador de código largo	105
4.1.3.2.1.4	Cubierta de Walsh (Walsh cover)	106
4.1.3.2.1	Multiplicador complejo	106
4.1.3.3	Canal piloto	107
4.1.4	Filtro de banda base	107
4.2	ENLACE ASCENDENTE MODO RECEPCIÓN	108
4.2.1	Filtro de banda base	108
4.2.2	Receptor Rake	109
4.2.2.1	Downsample	109
4.2.2.2	Ramas del receptor Rake (Rake finger)	110
4.2.2.2.1	Generador de secuencias PN en fase y en cuadratura	110
4.2.2.2.2	Retardo	110
4.2.2.2.3	Conjugado	111
4.2.2.2.4	Multiplicador complejo	112
4.2.2.3	Combinador	112

4.2.2.4	Detector de cruce por cero	112
4.2.3	Desensanchador ortogonal	113
4.2.3.1	Cubierta de Walsh (Walsh Cover)	113
4.2.3.2	Retardo	113
4.2.3.3	Adaptación de trama	114
4.2.3.3.1	Buffer	114
4.2.3.4	Derepeater	115
4.2.4	Decodificador	115
4.2.4.1	Desentrelazador	116
4.2.4.2	Depuncture	116
4.2.4.3	Derepeater	117
4.2.4.4	Decodificador de Viterbi	117
4.2.4.5	Extractor de bits de cola	118
4.2.4.6	Detector CRC	118
4.3	ENLACE DESCENDENTE MODO TRANSMISIÓN	119
4.3.1	Codificador descendente	119
4.3.1.1	Agregador de indicador de calidad de trama	120
4.3.1.2	Agregador de bits de cola	120
4.3.1.3	FEC	120
4.3.1.4	Repetidor	120
4.3.1.5	Puncture	120
4.3.1.6	Entrelazador de bloque	121
4.3.2	Scrambling de datos	121
4.3.2.1	Generador de código largo	122
4.3.2.2	Scrambling de código largo	122
4.3.2.2.1	Interlacer	123
4.3.2.3	Extractor de posición de bits de control de potencia	124
4.3.2.3.1	Selección de las posiciones 47, 46, 45 y 44	125
4.3.2.3.2	Posición inicial	125
4.3.2.3.3	Símbolos de modulación Reemplazados (Punctured modulation symbols)	126
4.3.2.4	Inserción de subcanal de control de potencia.	126
4.3.3	Ensanchador cuasi-ortogonal	126
4.3.3.1	Demultiplexor modo non- TD	127
4.3.3.2	Multiplicador QOF	127
4.3.3.3	Rotor de Walsh	128
4.3.3.3.1	Mapeo	129
4.3.4	Ensanchador complejo	130
4.3.4.1	Generador de secuencias PN en fase y en cuadratura.	130
4.3.5	Filtro de banda base	130
4.4	ENLACE DESCENDENTE MODO RECEPCIÓN	131
4.4.1	Filtro de banda base	131
4.4.2	Receptor Rake	131
4.4.2.1	Ramas del receptor Rake (Rake finger)	132
4.4.2.1.1	Generador de secuencias PN en fase y cuadratura	132
4.4.3	Desensanchador cuasi-ortogonal	132
4.4.3.1	Rotor inverso de Walsh	133
4.4.3.2	Multiplicador QOF	134
4.4.3.3	Multiplexor modo non- TD	135

4.4.3.3.1	Concatenación de Matrices	136
4.4.4	Descrambling de datos	136
4.4.4.1	Extracción de bits de control de potencia	137
4.4.4.1.1	Extractor de bits PC	138
4.4.4.2	Descrambling de código largo	138
4.4.5	Decodificador Descendente	139
4.4.5.1	Desentrelazador	139
4.4.5.2	Derepeater	139
4.5	MODELO DE CANAL	140
4.5.1	Multitrayecto	140
4.5.2	Ruido	141
4.6	DIAGRAMA DE IMPLEMENTACIÓN DEL ENLACE MÓVIL – ESTACIÓN BASE - MÓVIL	142
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	144
5.1	CONCLUSIONES	144
5.2	RECOMENDACIONES	145
	BIBLIOGRAFÍA	147

## INDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1.1 Eras históricas de CDMA	28
Tabla 1.2 Fases de evolución del estándar IS-95A	40
Tabla 1.3 Algunas características básicas del nivel físico de IS-95 y cdma2000.	43
Tabla 2.1 Características de las radio configuraciones para el canal CDMA ascendente	51
Tabla 2.2 Parámetros de modulación de los canales fundamental ascendente y suplementario ascendente para tramas de 20 ms y RC 3	56
Tabla 2.3 Tasas de datos para SR1	57
Tabla 2.4 Tipos de FEC para SR1	58
Tabla 2.5 Repetición de símbolos de código	59
Tabla 2.6 Puncturing	60
Tabla 2.7 Parámetros del entrelazador	61
Tabla 2.8 Funciones de Walsh para los canales CDMA ascendentes	62
Tabla 2.9 Coeficientes de $h(k)$ para SR1	68
Tabla 2.10 Estructura de trama del canal RFCH para tasas de datos no flexibles	69
Tabla 2.11 Características generales de las radio configuraciones para el enlace descendente	71
Tabla 2.12 Parámetros de modulación del Canal Fundamental Descendente y el canal suplementario descendente para tramas de 5 o 20 ms y RC 3	77
Tabla 2.13 Tasas de datos para SR1	78
Tabla 2.14 FEC para tasa de ensanchamiento 1.	78
Tabla 2.15 Repetición de símbolos de código	79
Tabla 2.16 Parámetros del entrelazador	80
Tabla 2.17 Duración del bit de control de potencia.	82

Tabla 2.18	Longitud máxima de la función de Walsh para los canales de código de los canales descendentes excepto el canal piloto auxiliar y el canal piloto de diversidad de transmisión	83
Tabla 2.19	Función de Walsh de rotación y máscaras QOF	84
Tabla 2.20	Resumen de la estructura de trama del canal fundamental descendente para tasas de datos no flexibles	86

## INDICE DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>	
Figura 1.1	Principio del Acceso múltiple por espectro ensanchado	31
Figura 1.2	Rechazo a la interferencia	32
Figura 1.3	Clasificación de CDMA	33
Figura 1.4	Arquitectura de red CDMA IS-95 (2G)	34
Figura 1.5	Arquitectura de red CDMA cdma2000 1X	37
Figura 1.6	Arquitectura de una red integrada cdma2000 1X - 1xEV-DO	44
Figura 1.7	Arquitectura básica de 1xEV-DV	46
Figura 2.1	Estructura del canal CDMA ascendente	52
Figura 2.2	Cabecera REACH	53
Figura 2.3	REACH y RCCCH	53
Figura 2.4	RPICH	54
Figura 2.5	RDCCH para RC3	54
Figura 2.6	RFCH y RSCH para RC3	54
Figura 2.7	Ensanchamiento del enlace ascendente en RC3	55
Figura 2.8	Codificador convolucional con $K=9$ y tasa de $\frac{1}{4}$	59
Figura 2.9	Formato de la máscara de código largo para Ensanchamiento por secuencia directa	64
Figura 2.10	Formato de máscara de código largo para ensanchamiento en cuadratura	65
Figura 2.11	Límites de la respuesta en frecuencia de los filtros de banda base.	67
Figura 2.12	Estructura de la trama del RFCH	69
Figura 2.13	Estructura del canal cdma2000 1X descendente	72
Figura 2.14	Canales comunes cdma2000 compatibles hacia atrás	73
Figura 2.15	Ensanchamiento en cuadratura de cdma2000 modo non-TD	73
Figura 2.16	FDCCH para RC3	75
Figura 2.17	FSCH y FFCH para RC3	75

Figura 2.18	Scrambling e inserción de bits de control de potencia	75
Figura 2.19	Operación de Demultiplexación para cdma2000 1X y mapeo directo	76
Figura 2.20	Demultiplexación para diversidad de transmisión	76
Figura 2.21	Posiciones de comienzo de los bits de control de potencia	82
Figura 2.22	Ensanchamiento Cuasi-Ortogonal	84
Figura 2.23	Estructura de trama del canal fundamental descendente	85
Figura 2.24	Máscara de código largo Publica para el canal fundamental descendente	87
Figura 4.1	Enlace ascendente modo transmisión	95
Figura 4.2	Generador de datos binarios aleatorios	96
Figura 4.3	Implementación del codificador ascendente en Simulink	97
Figura 4.4	Agregador de indicador de calidad de trama	97
Figura 4.5	Agregador de bits de cola	98
Figura 4.6	Codificador convolucional	98
Figura 4.7	Repetidor de símbolos de código	99
Figura 4.8	Puncture.	100
Figura 4.9	Entrelazador de bloque	100
Figura 4.10	Modulador del canal ascendente	101
Figura 4.11	Ensanchador ortogonal	101
Figura 4.12	Generador de código de Hadamard (Códigos de Walsh)	102
Figura 4.13	Ensanchador complejo	103
Figura 4.14	Generador de secuencias PN en fase y en cuadratura	103
Figura 4.15	Generador de secuencias PN	104
Figura 4.16	Expansión PN	105
Figura 4.17	Multiplicador complejo	106
Figura 4.18	Implementación interna del multiplicador complejo	106
Figura 4.19	Canal piloto	107
Figura 4.20	Implementación interna del canal piloto	107
Figura 4.21	Filtro de banda base	107
Figura 4.22	Enlace ascendente modo recepción	108
Figura 4.23	Receptor Rake	109
Figura 4.24	Implementación interna del receptor Rake	109
Figura 4.25	Downsample	109

Figura 4.26	Implementación de la rama del Receptor RAKE	110
Figura 4.27	Retardo	111
Figura 4.28	Complejo conjugado	111
Figura 4.29	Combinador	112
Figura 4.30	Detector de cruce por cero.	112
Figura 4.31	Desensanchador ortogonal	113
Figura 4.32	Implementación interna del desensanchador ortogonal.	113
Figura 4.33	Adaptación de trama	114
Figura 4.34	Implementación interna del bloque de adaptación de trama	114
Figura 4.35	Buffer	114
Figura 4.36	Derepeater	115
Figura 4.37	Decodificador ascendente	115
Figura 4.38	Implementación interna del decodificador	116
Figura 4.39	Desentrelazador	116
Figura 4.40	Depuncture	116
Figura 4.41	Decodificador de Viterbi	117
Figura 4.42	Extractor de bits de cola	118
Figura 4.43	Detector CRC	118
Figura 4.44	Enlace descendente modo transmisión	119
Figura 4.45	Implementación interna del codificador descendente en Simulink	119
Figura 4.46	Scrambling de datos	121
Figura 4.47	Implementación interna del Scrambling de datos	122
Figura 4.48	Scrambling de código largo	123
Figura 4.49	Implementación interna del bloque de scrambling de código largo	123
Figura 4.50	Interlacer	124
Figura 4.51	Extractor de posición de bits de control de potencia	124
Figura 4.52	Implementación interna del Extractor de Posición de bits de control de potencia.	124
Figura 4.53	Posición inicial	125
Figura 4.54	Inserción de subcanal de control de potencia.	126
Figura 4.55	Ensanchador cuasi-ortogonal	126
Figura 4.56	Implementación interna del ensanchador cuasi-ortogonal.	127
Figura 4.57	Demultiplexor modo non- TD	127



Figura 4.58	Implementación interna del demultiplexor modo non- TD	127
Figura 4.59	Multiplicador QOF	128
Figura 4.60	Implementación interna del multiplicador QOF	128
Figura 4.61	Rotor de Walsh	128
Figura 4.62	Implementación interna del Rotor de Walsh	129
Figura 4.63	Mapeo	129
Figura 4.64	Generador de secuencias PN en fase y en cuadratura del enlace descendente	130
Figura 4.65	Enlace descendente modo recepción	131
Figura 4.66	Implementación interna del receptor Rake del enlace descendente	132
Figura 4.67	Implementación de la rama del Receptor RAKE	132
Figura 4.68	Desensanchador cuasi-ortogonal	133
Figura 4.69	Implementación interna del desensanchador cuasi-ortogonal.	133
Figura 4.70	Rotor inverso de Walsh	133
Figura 4.71	Implementación interna del rotor	134
Figura 4.72	Implementación interna del Multiplicador QOF del enlace descendente en modo recepción.	135
Figura 4.73	Multiplexor modo non- TD	135
Figura 4.74	Implementación interna del multiplexor modo non- TD	135
Figura 4.75	Concatenación de matrices	136
Figura 4.76	Descrambling de datos	136
Figura 4.77	Implementación interna del bloque de descrambling de datos	137
Figura 4.78	Extractor de bits de control de potencia	137
Figura 4.79	Extractor de bits PC	138
Figura 4.80	Descrambling de código largo	138
Figura 4.81	Desentrelazador del enlace descendente	139
Figura 4.82	Derepeater del decodificador del enlace descendente	139
Figura 4.83	Modelo de canal	140
Figura 4.84	Implementación interna del Modelo de canal.	140
Figura 4.85	Multitrayecto	140
Figura 4.86	Implementación interna del Bloque de Multitrayecto.	141
Figura 4.87	Ruido	141
Figura 4.88	Enlace Móvil – Estación Base – Móvil	143

## **LISTA DE ANEXOS**

ANEXO A. Aplicación de la metodología de simulación de equipos de telecomunicaciones a la simulación de un enlace de tráfico de voz unidireccional móvil – estación base- móvil a 9,6 kbps a nivel físico del sistema cdma2000 1x en la radio configuración 3.

## GLOSARIO

**Acceso Múltiple por División de Código (CDMA, Code Division Múltiple Access):** técnica de acceso múltiple por espectro ensanchado que crea canales por medio de la utilización de secuencias de código únicas.

**Bits de Cola del Codificador:** secuencia fija de bits que se agregan al final del bloque de datos para reiniciar el codificador convolucional y llevarlo a un estado conocido.

**Bit de Control de Potencia:** bit enviado en el subcanal de control de potencia descendente y en el subcanal de control de potencia ascendente o en los canales de control de potencia, para indicarle a la estación móvil o a la estación base que incremente o disminuya su potencia de transmisión.

**Bit Indicador de Cancelación:** bit utilizado en la estructura de trama del Canal de Tráfico Ascendente para indicar una trama del canal fundamental descendente eliminada y en las radio configuraciones 3, 4, 5 y 6 en el subcanal de control de potencia para indicar la eliminación de tramas y/o no transmisión en el canal fundamental descendente.

**BPS:** bits por segundo.

**Canal CDMA Ascendente:** canal CDMA que va de la estación móvil a la estación base.

**Canal CDMA Descendente:** canal CDMA que va de una estación base a una estación móvil. El canal CDMA descendente contiene uno o mas canales de código.

**Canal de Código:** subcanal de un canal CDMA ascendente o descendente. Cada subcanal utiliza una función de Walsh ortogonal o cuasi-ortogonal.

**Canal de Tráfico Ascendente:** canal de tráfico en el cual se transmiten datos y señalización desde una estación móvil hacia una estación base.

**Canal de Tráfico Descendente:** uno o más canales de código utilizados para transportar tráfico de usuarios y señalización desde una estación base a una estación móvil.

**Canal Fundamental Ascendente:** porción de un canal de tráfico que transporta datos de alto nivel e información de control desde la estación móvil hacia la estación base.

**Canal Fundamental Descendente:** porción del canal de tráfico descendente que lleva una combinación de datos de alto nivel e información de control de potencia.

**Centro de Conmutación Móvil (MSC, Mobile Switching Center):** configuración de equipos que proporciona servicio radiotelefónico celular.

**Chip de Walsh:** el mínimo componente identificable de una función de Walsh o de una función cuasi-ortogonal. Hay  $2^N$  chips en una función de Walsh donde N es el orden de la función de Walsh.

**Código Convolutacional:** tipo de código de corrección de errores.

**Código de Redundancia Cíclica (CRC, Cyclic Redundancy Code):** es una clase de código de detección de errores, que genera bits de chequeo de paridad con el residuo de una división polinomial.

**Código largo:** secuencia PN que se utiliza para el scrambling en el canal CDMA descendente y para el ensanchamiento en el canal CDMA ascendente. En los canales de tráfico descendente y ascendente, el código largo proporciona una privacidad limitada. En el canal de tráfico ascendente, el código identifica de manera única a una estación móvil.

**Código Largo Privado:** código largo caracterizado por una máscara de código largo privada.

**Código Largo Público.** código largo caracterizado por una máscara de código largo pública.

**Corrección de Errores Directa (FEC, Forward Error Correction):** proceso mediante el cual los datos se codifican por medio de un código convolutacional o turbo para ayudar en la corrección de errores del enlace.

**Chip PN:** un bit de la secuencia PN.

**Desentrelazado:** proceso que reordena los símbolos que fueron permutados por el entrelazador.

**Desplazamiento PN:** desplazamiento de la secuencia PN en unidades de 64 chips relativo a la secuencia PN de desplazamiento cero.

**Diversidad de Transmisión Ortogonal (OTD, Orthogonal Transmit Diversity):** método de transmisión del enlace descendente que distribuye los símbolos del canal entre múltiples antenas y los ensancha con una única función de Walsh o una función cuasi-ortogonal asociada con cada antena.

**Ensanchamiento Directo:** modo CDMA incluido en la familia de estándares IMT-2000 de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU, International Telecommunications Union ).

**Entrelazado:** proceso de permutación de una secuencia de símbolos.

**Estación Base:** estación fija utilizada para comunicarse con las estaciones móviles. Dependiendo del contexto, éste termino puede referirse a una celda, a un sector dentro de una celda, a un MSC, o a otra parte del sistema inalámbrico.

**Estación Móvil:** estación que se comunica con la estación base.

**Función Cuasi-Ortogonal:** función creada aplicando una función de enmascaramiento cuasi-ortogonal a una función de Walsh ortogonal.

**Función de Walsh:** una de las  $2^N$  funciones binarias ortogonales. Las funciones son ortogonales después de mapear '0' a 1 y '1' a -1.

**Grupo de Control de Potencia:** intervalo de 1,25 ms en el canal de tráfico descendente.

**Handoff:** procedimiento mediante el cual un MSC pasa una conversación celular de una celda a otra o de una frecuencia a otra dentro de una misma celda.

**Handoff Fuerte:** proceso de handoff caracterizado por una desconexión temporal del canal de tráfico.

**Handoff Suave:** proceso de handoff en el que no hay desconexión del canal de tráfico.

**Indicador de Calidad de Trama:** CRC aplicado a las tramas de los canales de tráfico.

**Ksps:** kilo Símbolos Por Segundo (10e3 símbolos por segundo).

**Máscara de Código Largo:** número binario de 42 bits que crea una identificación única del código largo.

**Máscara de Código Largo Privada:** máscara de código largo utilizada para formar un código largo privado.

**Máscara de Código Largo Pública:** máscara de código largo utilizada para formar un código largo público. La máscara contiene una permutación de los bits del ESN de la estación móvil o la máscara particular especificada por la estación base.

**Mcps:** megachips por segundo (10e6 chips por segundo).

**Número Serial Electrónico (ESN, Electronic Serial Number):** número binario de 32 bits asignado por el fabricante de la estación móvil para identificarla. Es único para cada estación móvil.

**Radio Configuración:** conjunto de formatos de transmisión de los canales de tráfico ascendente o descendentes que esta caracterizado por los parámetros del nivel físico tales como tasas de datos, características de modulación y tasa de ensanchamiento.

**Secuencia de Pseudo Ruido (PN, Pseudo Noise):** secuencia binaria periódica.

**Secuencias PN I y Q:** par de secuencias PN utilizadas para ensanchar los canales CDMA ascendente y descendente. Las estaciones base están identificadas por diferentes desplazamientos de estas secuencias.

**Símbolo de Código:** salida de un codificador. La entrada del codificador son bits de información y la salida son símbolos de código.

**Símbolos de Modulación:** símbolos de salida del entrelazador.

**Sistema de Posicionamiento Global (GPS, Global Positioning System):** sistema satelital del gobierno de los Estados Unidos que proporciona información de localización a los usuarios.

**Sps:** símbolos por segundo.

**Subcanal de Control de Potencia:** subcanal del canal fundamental descendente utilizado para la estación base para controlar la potencia de una estación móvil operando en el canal de tráfico ascendente.

**Tasa de Chips:** equivalente a la tasa de ensanchamiento del canal. Puede ser de 1,2288 Mcps o de 3,6864 Mcps.

**Tasa de Ensanchamiento:** tasa de chips PN del canal CDMA descendente o del canal CDMA ascendente, definido como un múltiplo de 1,2288 Mcps.

**Tasa de Ensanchamiento 1:** usualmente referida como 1X. Equivale a 1,2288 Mcps.

**Tasa de Ensanchamiento 3:** usualmente referida como 3X. Equivale a  $3 * 1,2288 \text{ Mcps} = 3,6864 \text{ Mcps}$ .

**Throughput:** cantidad de datos que se pueden transmitir en un canal u otro dispositivo por segundo.

## INTRODUCCIÓN

Las comunicaciones móviles e inalámbricas están en auge, hecho que en parte se ve reflejado en el gran interés despertado en diferentes grupos de investigación de universidades a nivel mundial por el estudio y la simulación de los sistemas celulares de tercera generación, que han sido estandarizados por organismos internacionales como la Asociación de la Industrias de las Telecomunicaciones (TIA, Telecommunication Industry Association) y el Proyecto de Cooperación de Tercera Generación (3GPP, Third Generation Partnership Project), etc. La Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones de la Universidad del Cauca no ha sido ajena a este creciente interés, y por medio del Grupo I+D en Nuevas Tecnologías en Telecomunicaciones - GNTT ha comenzado a fomentar proyectos y estudios, enmarcados en el área de la simulación de los Sistemas de Comunicaciones Móviles e Inalámbricos, que buscan una apropiación de la información disponible acerca de estos sistemas y profundizan en su funcionamiento y características básicas tales como los esquemas de codificación, técnicas de modulación, técnicas de recepción, etc. El presente proyecto tiene la finalidad de aportar y dar los primeros pasos hacia esa apropiación con el estudio y la simulación del nivel físico del sistema cdma2000 1X, sistema que ha sido propuesto por la Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU, International Telecommunications Union) como uno de los candidatos para soportar los sistemas de tercera generación IMT-2000, y que en nuestro país se encuentra desplegado en su primera versión. En este documento se presenta el soporte teórico y metodológico que acompaña al desarrollo de la simulación. En el primer capítulo se realiza una introducción histórica de la técnica de Acceso Múltiple por División de Código (CDMA, Code Division Multiple Access), se presentan sus principales características y una descripción de la evolución hacia sistemas de tercera generación. En el segundo capítulo se describen las características básicas utilizadas y aplicadas en la simulación del sistema, extraídas del estándar para el nivel físico de cdma2000 1X TIA/EIA IS-2000.2-c. En el tercer capítulo se ofrece un compendio que reúne los principales proyectos y trabajos realizados a nivel mundial, nacional y local, que se encuentran relacionados con la simulación de sistemas basados en CDMA y que han sido publicados en páginas WEB de universidades y grupos de investigación. El



cuarto capítulo contiene la descripción de la implementación, en el entorno Simulink de Matlab®, del modelo de simulación obtenido a partir de la aplicación de la metodología de simulación de equipos de telecomunicaciones que se encuentra desarrollada en el anexo A de este documento. Finalmente el capítulo cinco presenta las conclusiones y algunas recomendaciones obtenidas durante el desarrollo del proyecto.

## 1. GENERALIDADES DE LA TECNOLOGÍA CDMA

### 1.1 HISTORIA DE CDMA

Los orígenes del Espectro Ensanchado (SS, Spread Spectrum) se encuentran en el campo militar y en los sistemas de navegación. Los principales hitos para el desarrollo del Acceso Múltiple por División de Código (CDMA, Code Division Multiple Access) comenzaron en los años cincuenta después de la formulación del teorema de Shannon<sup>1</sup>. En 1949, John R. Pierce<sup>2</sup> escribió un memorando técnico donde describía un sistema de multiplexación en el cual un medio común transportaría señales codificadas que no necesitarían sincronizarse. Este sistema puede clasificarse como sistema de acceso con espectro ensanchado por salto en el tiempo. En 1950, Louis De Rosa y Mortimer Rogoff propusieron un sistema de espectro ensanchado por secuencia directa e introdujeron la ecuación de ganancia de procesamiento. En 1956, Price y Green<sup>3</sup> patentaron el receptor RAKE para resolver los problemas por multitrayectoria. En 1978 Cooper y Nettleton<sup>4</sup> sugirieron la aplicación de las técnicas de espectro ensanchado en comunicaciones celulares. Posteriormente los investigadores de QUALCOMM notaron que la tecnología CDMA por Secuencia Directa (DS-CDMA, Direct Sequence CDMA) podría utilizarse en comunicaciones celulares comerciales para hacer un mejor uso del espectro radioeléctrico respecto a otras tecnologías. QUALCOMM comenzó su desarrollo en 1989. En los cuatro años siguientes se realizaron numerosas demostraciones, pruebas de campo, foros,

---

<sup>1</sup> Claude Elwood Shannon, "A Mathematical Theory of Communication," Bell System Technical Journal, Vol. 27, 1948, pp. 379-423 y 623-656.

<sup>2</sup>John Robert Pierce, Ingeniero estadounidense nacido en 1910. Entre los años 30 y 60 trabajó en los Laboratorios Bell, donde desarrolló la transmisión vía satélite con el Telstar 1 (1962), el primer satélite de comunicaciones.

<sup>3</sup> R. Price y P. E. Green, "A communication technique for multipath channels," Proc. IRE, vol. 46, pp. 555–570, Marzo. 1958

<sup>4</sup> Cooper y R. W. Nettleton, "A spread-spectrum techniques for high-capacity mobile communications," *IEEE Trans. Veh. Tech.*, Vol. 27, No. 4, Nov. 1978, pp. 264-275.

debates y relaciones políticas y comerciales que contribuyeron a establecer el estándar de la Asociación de la Industria de las Telecomunicaciones (TIA, Telecommunication Industry Association) IS-95A<sup>5</sup> en 1993 con una velocidad de datos de 14,4 kbps por conmutación de circuitos. Las primeras redes CDMA fueron lanzadas comercialmente en 1995, y proporcionaron una capacidad 10 veces mayor que la de las redes analógicas existentes en el momento. Durante los años noventa se estudiaron ampliamente las técnicas CDMA de banda ancha alrededor del mundo, y se construyeron varios sistemas de prueba. Entre los que se incluyen Acceso Múltiple FRAMES (FRAMES fma2) en Europa, Core-A en Japón, el esquema CDMA de banda ancha (WCDMA, Wideband CDMA) armonizado Europeo/Japonés, cdma2000 en los Estados Unidos, y los esquemas coreanos TTA I y II (TTA, Telecommunication Technology Association). Actualmente, se encuentran instalados sistemas comerciales cdma2000 alrededor del mundo principalmente en Estados Unidos, Corea y Suramérica. Basados en la descripción anterior, la era CDMA se divide en 3 periodos: La era pionera de CDMA, la era CDMA de banda estrecha, y la era CDMA de banda ancha, como se muestra en la tabla 1.1.

**Tabla 1.1 Eras históricas de CDMA**

<p><b><i>Era Pionera:</i></b></p> <p>1949 John Pierce: espectro ensanchado por salto en el tiempo            1949 Claude Shannon y Robert Pierce: ideas básicas de CDMA            1950 De Rosa - Rogoff: Espectro ensanchado por secuencia directa            1956 Price y Green: patente del receptor "RAKE"            1970 Varios desarrollos en el campo militar y los sistemas de navegación</p>
<p><b><i>Era CDMA de banda estrecha</i></b></p> <p>1978 Cooper y Nettleton: Aplicación celular del espectro ensanchado            1980's Investigación de las técnicas CDMA de banda estrecha para aplicaciones celulares            1993 Estándar IS-95</p>
<p style="text-align: center;"><b>Era CDMA de banda ancha</b></p> <p>1995 Europa: FRAMES FMA2            Japón: Core -A            Estados Unidos: cdma2000            Corea: TTA I y TTA II            2000's Comercialización de sistemas CDMA            Desarrollo de sistemas WCDMA</p>

<sup>5</sup> IS-95 es un estándar interino de la TIA.

## 1.2 CONCEPTOS BÁSICOS DE CDMA

En CDMA, a cada usuario se le asigna una única secuencia de código que al multiplicarla con la señal de información ensancha el espectro de dicha señal. El receptor, que debe conocer la secuencia de código del usuario, correlaciona la señal recibida con este código desensanchando el espectro para recuperar la información original. Esto es posible gracias a que la correlación entre el código de un usuario específico y los códigos de los demás usuarios es casi nula. Debido a que el ancho de banda de la señal de código es mucho mayor que el ancho de banda de la señal de información, este proceso ensancha (expande) el espectro de la señal y por esto también se conoce como modulación de espectro ensanchado. La señal resultante también se denomina señal de espectro ensanchado, y a CDMA se lo denomina frecuentemente sistema de Acceso Múltiple de Espectro Ensanchado (SSMA, Spread Spectrum Multiple Access). El ensanchamiento espectral y la ortogonalidad de las señales transmitidas le dan a CDMA la capacidad de acceso múltiple, lo que permite que estas señales puedan coincidir en espacio, frecuencia y tiempo sin interferirse entre sí. Por lo tanto es importante conocer las técnicas necesarias para generar las señales de espectro ensanchado y las propiedades de dichas señales. Una técnica de modulación de espectro ensanchado debe cumplir con los siguientes dos criterios:

- El ancho de banda de transmisión debe ser mucho más grande que el ancho de banda de la señal de información.
- El ancho de banda de radio frecuencia resultante está determinado por una función independiente de la información que se está enviando (El ancho de banda es estadísticamente independiente de la señal de información). Esto excluye las técnicas de modulación tales como FM y PM.

La relación entre el ancho de banda transmitido y el ancho de banda de la señal de información se conoce como ganancia de procesamiento,  $G_p$ , del sistema de espectro ensanchado.

$$G_p = \frac{B_t}{B_i} \quad (1.1)$$

Donde  $B_t$  es el ancho de banda de transmisión y  $B_i$  es el ancho de banda de la señal de información. El receptor correlaciona la señal recibida con una replica sincronizada del código de ensanchamiento generada localmente para recuperar la información original. Esto implica que el receptor debe conocer el código utilizado para modular la información. Debido a la modulación y al ancho de banda ensanchado resultante, las señales de espectro ensanchado tienen un número de propiedades que difieren de las propiedades de las señales de banda estrecha. Algunas de estas propiedades se describen a continuación.

### **1.2.1 Propiedades de las señales de espectro ensanchado**

#### **1.2.1.1 Capacidad de acceso múltiple**

Si múltiples usuarios transmiten señales de espectro ensanchado simultáneamente, el receptor será capaz de distinguir entre los usuarios debido a que cada usuario tiene un único código que tiene una correlación suficientemente baja con respecto a los códigos de los otros usuarios. Correlacionando la señal recibida con una señal de código de un determinado usuario se desensanchará únicamente la señal de ese usuario, mientras que las otras señales de espectro ensanchado permanecen ensanchadas sobre un gran ancho de banda. Esto significa que dentro del ancho de banda de la información, la potencia de un determinado usuario será mucho mayor que la potencia de las señales interferentes (siempre y cuando no haya muchas señales interferentes) por lo tanto puede recuperarse la señal deseada. Para entenderlo mejor, se puede hacer una analogía con una reunión en la que los invitados conversan simultáneamente y cada conversación se lleva a cabo en un idioma diferente. Si un invitado conoce "el código" de una determinada conversación, es decir el idioma, puede ignorar las demás conversaciones y escuchar sólo la conversación que le interesa. Para este usuario, las demás conversaciones se interpretarían como ruido dentro de la sala. La capacidad de acceso múltiple se ilustra en la Figura 1.1 En la figura 1.1a, dos usuarios generan señales de espectro ensanchado a partir de sus señales de información de banda estrecha. En la Figura 1.1b los dos usuarios transmiten sus señales de espectro ensanchado simultáneamente (arriba). En el receptor solo una de las señales de usuario se "desensancha" y la información se recupera (abajo).

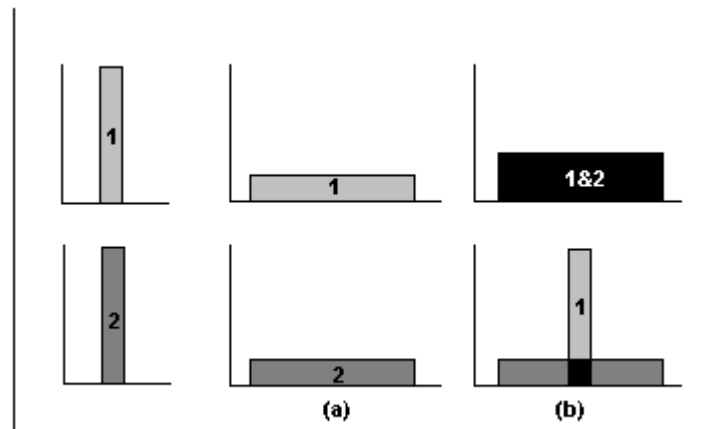


Figura 1.1 Principio del Acceso múltiple por espectro ensanchado

### 1.2.1.2 Protección contra interferencia por multitrayectoria

En un canal de radio no hay un solo trayecto entre el transmisor y el receptor. Debido a las reflexiones (y refracciones) una señal tendrá diferentes caminos para llegar al receptor. Estas señales son copias de la señal transmitida pero con diferentes amplitudes, fases, retardos y ángulos de llegada. Sumando estas señales en el receptor se generará interferencia constructiva y destructiva dependiendo de las fases de las diferentes señales. En el dominio del tiempo, esto produce una señal distorsionada. La modulación de espectro ensanchado puede combatir esta interferencia por multitrayectoria, haciendo uso del receptor Rake, cuyo principio es utilizar varias ramas de correlación (Llamadas dedos del receptor Rake ó Rake fingers) para procesar individualmente las diferentes componentes de multitrayectoria. Las salidas de las ramas se combinan para recuperar y fortalecer la señal.

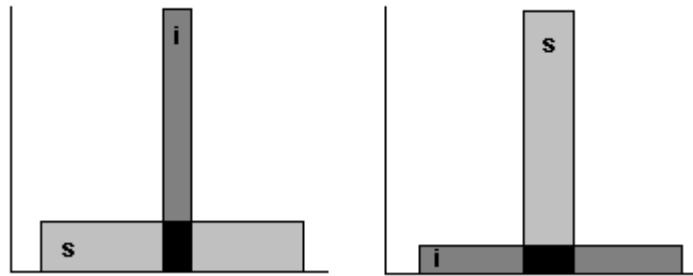
### 1.2.1.3 Privacidad y seguridad

La señal transmitida puede recuperarse únicamente si se conoce el código con el que fue ensanchada en el receptor.

### 1.2.1.4 Rechazo a la interferencia

En transmisión se correlaciona la señal de código con una señal de banda estrecha, ensanchando dicha señal y distribuyendo su potencia sobre un ancho de banda

considerablemente mayor (espectro ensanchado). En recepción esta señal, junto con las señales interferentes que han sido adicionadas en el canal de transmisión, se correlaciona nuevamente con el mismo código reduciendo la potencia de las señales interferentes. Esta característica se ilustra en la figura 1.2. La señal de espectro ensanchado (s) recibe una interferencia de banda estrecha (i). En el receptor la señal de espectro ensanchado se “desensancha” mientras la señal interferente se ensancha, haciendo que la señal interferente aparezca como ruido en el receptor comparada con la señal desensanchada.



*Figura 1.2 Rechazo a la interferencia*

#### **1.2.1.4 Capacidad anti-sabotaje (antijamming)**

Especialmente jamming de banda estrecha. Esto es más o menos el mismo rechazo a la interferencia, excepto que la señal interferente se introduce intencionalmente en el sistema. Esta propiedad, junto con la siguiente, hacen que la modulación de espectro ensanchado sea atractiva para aplicaciones militares.

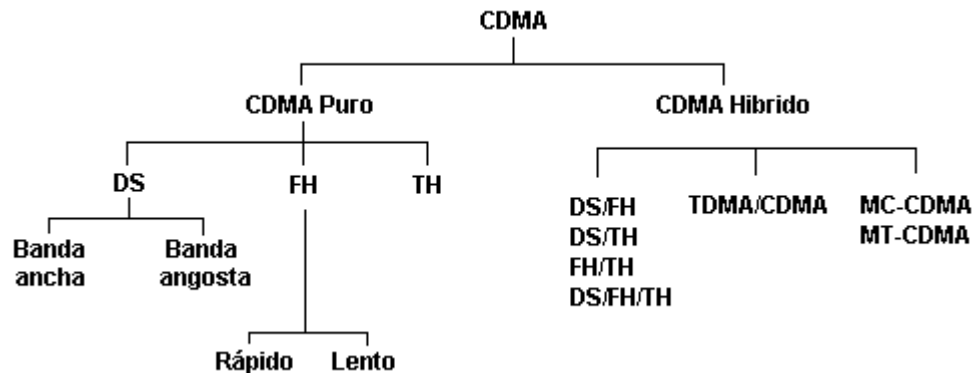
#### **1.2.1.5 Baja probabilidad de interceptación.**

Debido a su baja densidad de potencia (comparable al nivel de ruido), la señal de espectro ensanchado es difícil de detectar e interceptar por parte de usuarios ajenos al sistema.

### **1.2.2 Clasificación de CDMA según la técnica de espectro ensanchado**

En la figura 1.3 se muestra una clasificación general de CDMA. Hay varias técnicas de modulación que generan señales de espectro ensanchado. A continuación se describen brevemente las más importantes:

- Espectro Ensanchado por Secuencia Directa (DS, Direct Sequence): La señal de información se multiplica directamente por una señal de código de alta tasa de chip<sup>6</sup>. Esta técnica se utiliza en sistemas CDMA IS-95, cdma2000.
- Espectro Ensanchado por Salto en Frecuencia(FH, Frequency Hopping): La frecuencia de la portadora en la cual se transmite la señal de información cambia rápidamente de acuerdo a una señal de código. Esta técnica se utiliza en sistemas Bluetooth.
- Espectro Ensanchado por Salto en el Tiempo (TH, Time Hopping). La señal de información no se trasmite continuamente. En lugar de eso, la señal se transmite en ráfagas cortas en donde los tiempos de las ráfagas se definen de acuerdo a la señal de código. Esta técnica es utilizada en sistemas UWB<sup>7</sup>.
- Modulación híbrida. Se utilizan simultáneamente dos o más de las técnicas mencionadas anteriormente para combinar las ventajas y, al menos eso se espera, para combatir las desventajas.



*Figura 1.3 Clasificación de CDMA*

Además, es posible combinar CDMA con otros métodos de acceso múltiple: TDMA, Modulación Multiportadora (MC, MultiCarrier) o Modulación Multitono (MT, MultiTone). En el caso de MC-CDMA, el ensanchamiento se hace a lo largo del eje de la frecuencia, mientras que para MT-CDMA el ensanchamiento se hace a lo largo del eje del tiempo. Cabe resaltar que MC-CDMA y MT-CDMA se basan en la Multiplexación por División de Frecuencia Ortogonal. (OFDM, Orthogonal Frequency Division Multiplexing).

<sup>6</sup> Un chip es el componente más elemental de una señal de espectro ensanchado.

<sup>7</sup> En los sistemas de comunicación UWB (Ultrawide Bandwidth ) el ancho de banda es mayor que el 25% de la frecuencia central o mayor a 1,5 GHz.



## 1.2.3 Arquitectura de los sistemas CDMA

### 1.2.3.1 Arquitectura de IS-95 (2G)

Aunque los componentes y las operaciones específicas de un sistema de telefonía celular dependen de la tecnología empleada (FDMA, TDMA, CDMA), la arquitectura básica de una red celular es común a todos los estándares. La figura 1.4 muestra la arquitectura básica de una red IS-95, pero puede generalizarse para otros sistemas.

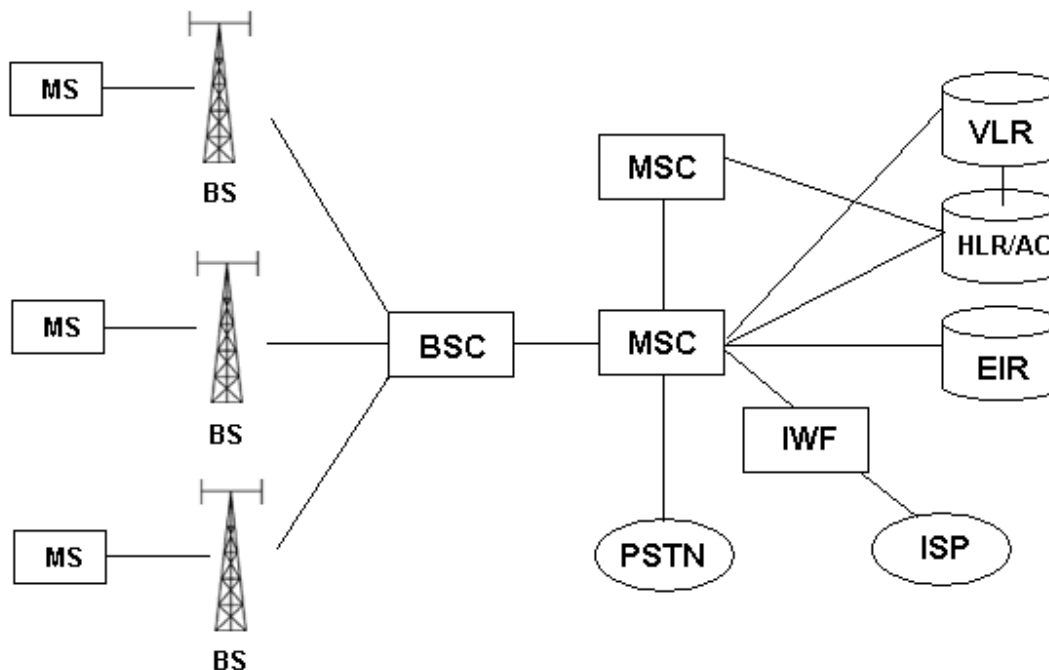


Figura 1.4 Arquitectura de red CDMA IS-95 (2G)

- **Estación Base (BS, Base Station)** - Dentro de una celda, la Estación Móvil (MS, Mobile Station) se comunica con el sistema por medio de la estación base. Cada celda tiene una estación base, físicamente es una torre que contiene radio transceptores y antenas, un procesador, tarjetas de canal, y demás equipos necesarios para proporcionar servicio en la celda. La capacidad de una celda / BS está determinada por el número de canales disponibles, sectorización de la celda, y la demanda de servicio o tráfico (Medido en Erlangs).

- **Controlador de Estaciones Base (BSC, Base Station Controller)** - Cada estación base está controlada por un BSC; cada BSC generalmente puede manejar varias estaciones base. Un BSC contiene un conmutador de alta capacidad, y proporciona los servicios cruciales requeridos para controlar las estaciones base, incluyendo el manejo del handoff<sup>8</sup> de una celda a otra, cambio de una frecuencia dentro de la misma celda y la administración de los recursos radioeléctricos. La capacidad de un BSC está limitada por el número de puertos de transmisión que tiene para comunicarse con las BSs. Un BSC típicamente trabaja en un 80 % de su capacidad. El BSC tiene un enlace troncal directo con la BS, típicamente una línea T-1.
  
- **El Centro de Conmutación Móvil (MSC, Mobile Switching Center)** - El MSC tiene una función similar a la de un conmutador en el sistema telefónico. El MSC proporciona conexiones con la Red Telefónica Pública Conmutada (PSTN, Public Switched Telephone Network) y Redes de Datos Públicas (PDN, Public Data Network) por medio de una Función de Interconexión de Redes (IWF, Internetworking Function). También puede soportar todas las funciones que se requieren para gestionar la estación móvil, incluyendo el registro del dispositivo, actualización de localización, y el handoff. Entre las tareas adicionales del MSC se incluyen el establecimiento y supervisión de llamadas, enrutamiento, recolección de información de tarificación, gestión de conexiones a BSCs y otros MSCs. El MSC maneja varios subsistemas BSC/BS (por medio de conexiones T1/E1), y su capacidad se mide por el número de Erlangs que su conmutador puede manejar.
  
- **Sistema de Soporte de Operaciones (OSS, Operation Subsystem)** - El subsistema de componentes y funcionalidades que permiten la gestión del sistema móvil celular se denomina sistema de soporte de operaciones (OSS). Los componentes se describen a continuación.
  - **Registro de Localización de Usuarios Locales (HLR, Home Location Register) / Centro de Autenticación (AC, Authentication Center)** El HLR es una base de datos de información de todos los subscriptores

---

<sup>8</sup> El handoff es el procedimiento en el cual se transfiere una llamada en curso de una celda a otra sin interrumpir la llamada.

(restricciones de servicio y servicios suplementarios, información de tarificación, etc.) de la red, incluyendo la localización actualizada del usuario. El AC esta asociado directamente con el HLR. El AC contiene los parámetros clave utilizados para asegurar autenticidad en el registro de localización inicial, actualización de localización y establecimiento de llamadas.

- ❑ **Registro de Localización de Visitantes (VLR, Visitor Location Register)**  
El VLR es una base de datos temporal que contiene información de los usuarios móviles visitantes que están en el área de servicio controlada por el MSC/VLR. Típicamente hay un VLR por MSC.
- ❑ **Registro de Identidad de Equipos (EIR, Equipment Identity Register)**  
El EIR es una base de datos que mantiene la información necesaria para validar los dispositivos móviles con el propósito de que se identifique y se niegue el servicio a equipos fraudulentos o robados.

### 1.2.3.2 Arquitectura de cdma2000 1X

La arquitectura básica de una red cdma2000 1X no difiere significativamente a nivel físico de la arquitectura de red IS-95 descrita anteriormente sin embargo se evoluciona la interfaz de radio aumentando la capacidad del sistema. Los componentes principales de 2G se conservan en la arquitectura 1X, aunque hay algunos cambios en el núcleo de red, el enlace a redes de datos, el software y el hardware que contienen las estaciones base, los BSCs, los MSCs y los dispositivos móviles. (Ver figura 1.5). Específicamente los cambios requeridos incluyen:

- La estación móvil o dispositivo de usuario - Se requieren nuevos dispositivos que sean capaces de manejar altas velocidades de transmisión y que sean compatibles con IS-95 y con las redes 1xRTT.
- En la estación base - Se requieren nuevas tarjetas de canal y software que permiten el incremento significativo de la capacidad de tráfico de voz en la celda.
- En el BSC - Un nuevo enrutador (Router) de conmutación de paquetes de datos, que proporciona un incremento de la capacidad, mas una conexión directa a la red de datos (por medio de una IWF).

- En el MSC - Un nuevo conmutador, que está directamente conectado a los servidores, el conmutador (softswitch) se expande con la adición de nuevos servidores.
- AAA (Authentication, Authorisation and Accounting) - Es un servidor que autentica y autoriza a los usuarios móviles, proporcionando el perfil del usuario y la información de Calidad del Servicio (QoS, Quality of Service) a la Red de Datos de Conmutación de Paquetes (PDSN, Packet Data Switched Network) y almacena información sobre la utilización de los recursos de la red por parte del usuario

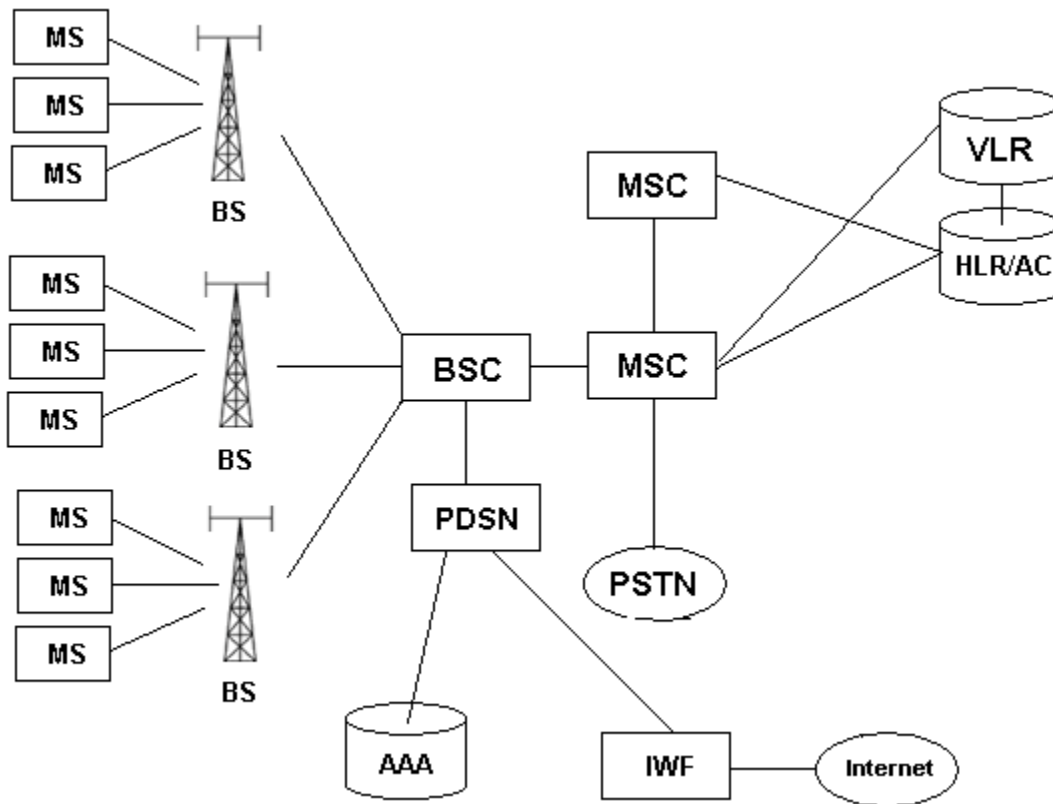


Figura 1.5 Arquitectura de red CDMA cdma2000 1X

### 1.3. EVOLUCIÓN DE CDMA HACIA TERCERA GENERACIÓN

La evolución a servicios de tercera generación es un tema muy discutido y analizado en la industria CDMA. Los nuevos requerimientos de los usuarios en cuanto a la convergencia de servicios de voz y datos y redes de conmutación de paquetes que soporten servicios multimedia, están transformando las políticas y el campo de acción de la mayoría de los

actuales proveedores y operadores de cdmaOne<sup>9</sup> (También conocido como CDMA/IS-95 o CDMA/IS-95A). Éste nuevo ambiente de migración está marcado por la tendencia creciente de eliminar la división que existe entre las redes alambradas, las inalámbricas y los Proveedores de Servicios de Internet (ISP , Internet Service Provider). La vía de migración inicial hacia 3G para éstos operadores y proveedores de cdmaOne comienza por la tecnología CDMA/IS-95A, pasando por CDMA/IS-95B y concluyendo con CDMA/IS-95C o CDMA 1xRTT<sup>10</sup>. CDMA 1xRTT es generalmente abreviada como cdma2000. El próximo paso en la evolución es cdma2000 1x Evolución en Datos Únicamente (EV-DO, Evolution - Data Only), y posteriormente cdma2000 1x Evolución en Datos y Voz (EV-DV, Evolution - Data and Voice).

### **1.3.1 cdmaOne: CDMA de segunda generación**

El estándar CDMA de segunda generación predominante se conoce como IS-95 o TIA/EIA-95, usualmente denominado como cdmaOne. La familia de estándares IS-95 está dividida en dos normas: IS-95A e IS-95B. La principal diferencia entre estos dos estándares reside en la velocidad de los servicios de datos ofrecida (9,6 kbps para IS-95A y > 14,4 kbps para IS-95B). Técnicamente, IS-95A puede considerarse como un estándar CDMA de segunda generación y el estándar IS-95B como de 2.5G, ya que IS-95B ofrece mayores velocidades de datos.

#### **1.3.1.1 IS-95A**

La primera revisión del estándar IS-95 fue denominada IS-95A, éste estándar especifica la interfaz aérea (Interfaz de radio) para sistemas celulares en la banda de 800 MHz. La versión para Servicios de Comunicaciones Personales (PCS, Personal Communications Services) del estándar es el ANSI J-STD-008, y difiere de IS-95A en el plan de frecuencias y en el procesamiento de llamadas. IS-95A ofrece soporte a señales de voz por conmutación de circuitos y datos por conmutación de circuitos o paquetes, con velocidades de hasta 14,4 kbps. Debido al enfoque inicial de los proveedores y operadores en señales de voz, históricamente la tecnología IS-95A ha sido utilizada principalmente para voz por conmutación de circuitos y, más recientemente, para un

---

<sup>9</sup> CdmaOne describe un sistema inalámbrico completo basado en el estándar TIA IS-95, incluyendo las revisiones IS-95A e IS-95B.

<sup>10</sup> Tecnología de radio transmisión (RTT, Radio Transmission Technology)

pequeño volumen de datos. La interfaz aérea de IS-95A está conformada por dos enlaces: El enlace ascendente o "Uplink" y el enlace descendente o "Downlink".

#### **1.3.1.1.1 Enlace descendente**

El enlace descendente de IS-95 está diseñado para que aproveche la ventaja inherente de los sistemas CDMA de reutilizar la frecuencia con un factor de 1. Además, el enlace descendente IS-95 está diseñado para que en el receptor móvil se realice un proceso de recepción coherente por medio de una señal piloto. La canalización en el enlace descendente se realiza por medio de la multiplexación de código, característica fundamental de los sistemas IS-95. Los códigos utilizados en esta canalización son ortogonales entre si, los cuales se denominan códigos de Walsh<sup>11</sup> y se asignan a los diferentes canales del enlace. En el enlace descendente se tienen canales de tráfico y canales de encabezamiento (overhead channels), los tres tipos de canales de cabecera utilizados en IS-95A son el canal piloto, el canal de sincronización y los canales de paginación. Cada uno tiene un código asociado, y tiene un propósito particular en el enlace descendente IS-95A. El canal piloto sirve como señal de referencia para la demodulación en las estaciones móviles así como también de nivel de referencia para el proceso de handoff. El canal de sincronización lleva un mensaje repetitivo que transporta información de temporización y configuración del sistema. El canal de paginación permite la comunicación de la estación base con los móviles cuando a estos no se les ha asignado un canal de tráfico. Los canales de tráfico manejan voz y datos a una velocidad de 9,6 kbps para el conjunto de tasas 1 (RS 1, Rate Set 1) ó 14,4 para el conjunto de Tasas 2 (RS 2, Rate Set 2).

#### **1.3.1.1.2 Enlace ascendente**

El enlace ascendente o "Uplink" , entre la estación móvil y la estación base, es en el que se presenta el acceso múltiple, ya que hay muchos móviles intentando acceder a una estación base. En el enlace descendente los canales se separan ortogonalmente por medio de los códigos de Walsh, mientras que en el enlace ascendente los canales se separan por medio de desplazamientos de una sola secuencia pseudo aleatoria conocida

---

<sup>11</sup> Códigos de Walsh: Son códigos obtenidos a partir de las filas de una matriz de Hadamard, dicha matriz es cuadrada y de longitud N y tiene la propiedad de que cada una de sus N filas es matemáticamente ortogonal a las demás.

como código largo a través de diferentes fases o vectores iniciales. En el enlace ascendente se tienen varios canales de tráfico y un solo tipo de canal de cabecera conocido como canal de acceso. El canal de acceso transporta respuestas y solicitudes de servicio desde los móviles hasta la estación base cuando no se han asignado canales de tráfico. Los canales de tráfico transportan voz o datos. Estos canales pueden operar a una tasa de datos variable. De acuerdo al requerimiento de J-STD-008, hay dos conjuntos de tasas de datos del canal de tráfico. El SR 1 tiene una tasa de datos máxima de 9.6 kbps, mientras que el SR 2 tiene una tasa de datos máxima de 14.4 kbps. En ambos conjuntos se permiten tasas parciales. El estándar IS-95A tiene dos fases de evolución. La fase I corresponde a las mejoras realizadas con el lanzamiento de la norma IS-95B que permite prestar mejores servicios de datos a una mayor velocidad que la ofrecida por IS-95A. Y la fase II es el desarrollo del estándar cdma2000. La tabla 1.2 muestra éstas fases de evolución.

**Tabla 1.2 Fases de evolución del estándar IS-95A**

Fase I IS-95B	Es compatible 100% con las redes IS-95A ya desplegadas (Incluso el hardware de la estación base) Mayor desempeño en aplicaciones de Datos de Alta Velocidad (HSD, High-speed data) sin perder la compatibilidad hardware
Fase II Cdma2000	Compatibilidad hacia atrás con los equipos de usuario IS-95 Cumple los requerimientos de la TIA para la evolución hacia 3G Satisface y sobrepasa los requerimientos tecnológicos de la ITU para IMT-2000

### 1.3.1.2 IS-95B

IS-95B corresponde a la primera fase de la evolución de IS-95A, y ofrece servicios de Datos de Alta Velocidad (HSD, High Speed Data) sin cambiar la capa física de IS-95A, simplemente se requieren cambios de software en el BSC y nuevos dispositivos móviles de usuario que sean compatibles con la norma anterior. Estos servicios de alta velocidad se ofrecen gracias a la agregación de código: Se pueden asignar hasta ocho canales de código a un móvil para transportar paquetes de datos de alta velocidad durante una ráfaga de datos. Un móvil activo siempre tiene asignado un canal de código fundamental, cuando se requieren tasas de datos mayores, al móvil se le pueden asignar hasta siete

canales de código suplementarios. El periodo de operación en alta velocidad es llamado ráfaga de datos. Ésta nueva opción de servicio puede ser asimétrica (Es decir, el móvil con capacidades de manejo de paquetes de datos de alta velocidad puede soportar diferentes anchos de banda para los enlaces ascendente y descendente). Las mejoras en IS-95B que permiten servicios HSD son las siguientes:

- Canales de código descendentes: Se asignan hasta ocho códigos de Walsh (1 código de Walsh por cada canal de código) para una ráfaga de datos hacia el usuario.
- Canales de código ascendentes: A cada canal suplementario ascendente se le asigna una máscara PN diferente derivada de su máscara PN fundamental. Cada máscara corresponde a un desplazamiento diferente de la secuencia PN.
- Control de potencia: El control de potencia para los canales de código suplementarios se deriva del canal de código fundamental. Es decir, no hay una malla de control de potencia independiente para los canales de código suplementarios.
- Tasas de código permitidas: Durante una ráfaga de datos, todos los canales de código se transmiten a tasa máxima; no se permiten tasas parciales.

#### **1.3.1.2.1 Tasas de datos de usuario soportadas por IS-95B**

Debido a que se pueden asignar hasta ocho canales de código simultáneamente a un solo usuario, y cada canal de código opera a 9,6 kbps utilizando RS 1 o 14,4 kbps utilizando RS 2, las tasas de datos que ofrece IS-95B son:

- 9,6 – 76,8 kbps en RS 1
- 14,4 – 115,2 kbps en RS 2

### **1.3.2 cdma2000 - CDMA de Tercera generación**

#### **1.3.2.1 cdma2000 1X**

cdma2000 1X, que corresponde a la segunda fase de evolución de IS-95A, es la vía natural de evolución hacia tercera generación para los operadores de cdmaOne, ya que



una transición hacia cdma2000 requiere pequeñas actualizaciones en la red y una baja inversión de capital. Además cdma2000 1X es compatible con la infraestructura cdmaOne existente. Debido a esto, la transición hacia cdma2000 1X es relativamente fácil para los operadores y transparente a los usuarios. Cdma2000 1X surge como una de las cinco interfaces radio recomendadas por la ITU para cumplir con los requerimientos de las futuras redes de tercera generación (IMT-2000) y es el resultado de los esfuerzos de la TIA para evolucionar el estándar IS-95 y más precisamente la norma IS-95B. Sin embargo, cdma2000 1X fue desarrollado pensando en los sistemas e infraestructura de segunda generación, razón por la cual un requerimiento explícito para cdma2000 1X es la compatibilidad hacia atrás. Éste requerimiento asegura que los productos de segunda generación puedan ser fácilmente adaptados a la evolución para que cumplan con los requerimientos de red de tercera generación. Un aspecto importante de la evolución hacia tercera generación es que cdma2000 1X se ha beneficiado de la gran experiencia adquirida a través de años de operación del sistema cdmaOne. Como consecuencia de esto, cdma2000 1X actualmente es una tecnología muy eficiente y robusta. Aún cuando cdma2000 1X ofrece mayores tasas de datos que IS-95 requiere solamente de 1,25 MHz de espectro por canal o portadora manteniendo así la compatibilidad con cdmaOne. Más específicamente, cdma2000 1X duplica la capacidad de voz de los sistemas cdmaOne y ofrece una velocidad de datos por paquetes de 153 kbps (Release 0) y de 307 kbps (Release 1) en el mismo canal de 1,25 MHz que cdmaOne. Debido a estas características cdma2000 1X puede soportar aplicaciones avanzadas como correo electrónico, juegos, servicios de localización basados en el Sistema de Posicionamiento Global (GPS, Global Positioning System), etc. En la tabla 1.3 se presentan algunas de las características del nivel físico de cdma2000 1X contrastadas con el estándar IS-95.

#### **1.3.2.2 cdma2000 1xEV**

Para satisfacer la creciente necesidad de servicios inalámbricos de paquetes de datos, los organismos de estandarización de 3G se han interesado en el desarrollo de las tecnologías cdma2000 1X para que sean capaces de manejar mayores tasas de datos. Ésta especificación ha experimentado recientemente un importante cambio evolutivo orientado a alcanzar este objetivo. Dicha evolución se conoce como cdma2000 1xEV y se da de dos formas. 1xEV-DO (Data Only ó Data Optimized) y 1xEV-DV (Data and Voice).

**Tabla 1.3 Algunas características básicas del nivel físico de IS-95 y cdma2000.**

<b>Característica</b>	<b>IS-95</b>	<b>Cdma2000 1X</b>
Ancho de banda del canal RF (MHz)	1,25	1,25
Tasa de chips (Mcps)	1,2288	1,2288
Canales de código suplementarios (SCCH, Supplemental Code Channel)	0 a 7	0 o 1 por servicio
Longitud de trama (ms)	20	20 y la opción de 5
Codificación de canal	Convolucional	Convolucional o turbo
Canal de control dedicado	no	Si
Control de potencia rápido descendente	no	Si
Diversidad de transmisión para el enlace descendente	no	Si
Modulación	BPSK con ensanchamiento en cuadratura	QPSK con ensanchamiento en cuadratura

#### 1.3.2.2.1 Cdma2000 1xEV-DO

Cdma2000 1xEV-DO es el nombre utilizado comúnmente para referirse al estándar de comunicaciones móviles de tercera generación TIA/EIA/IS-856 : “cdma2000, especificación de la interfaz aérea para paquetes de datos de alta velocidad”. Este estándar se basa en la tecnología de Alta Tasa de Datos (HDR, High Data Rate) de Qualcomm, y corresponde a la primera fase de la evolución de las redes cdma2000 1X. La tecnología Cdma2000 1x EV-DO es una solución que añade una portadora de 1,25 MHz dedicada exclusivamente a la prestación de servicios de datos de alta velocidad. Ofrece acceso inalámbrico a Internet de alta capacidad y velocidad, y una optimización de los servicios de datos por paquetes. 1xEV-DO logra este alto desempeño con mínimos recursos de red y espectro, para de esta forma proporcionar una alta eficiencia espectral. Los sistemas cdma2000 1xEV-DO están diseñados para ser altamente interoperables con los sistemas CDMA, basándose en las mismas características de radio frecuencia de IS-95 y cdma2000 1X.

### 1.3.2.2.1.1 Arquitectura de red de 1xEV-DO

Como su nombre lo indica, el sistema 1xEV-DO no soporta servicios de voz por sí solo, éste sistema está diseñado para servicios de paquetes de datos que no requieran tiempo real sobre una portadora 1xEV-DO de 1,25 MHz. En una red integrada (IS-95/1X y 1xEV-DO) se permite a los usuarios acceder a los servicios de voz por medio de la portadora IS-95/1X mientras accede a servicios de datos a través de la portadora cdma2000 1xEV-DO. La figura 1.6 muestra la arquitectura de una red integrada cdma2000 1X - 1xEV-DO para prestar servicios de voz y datos.

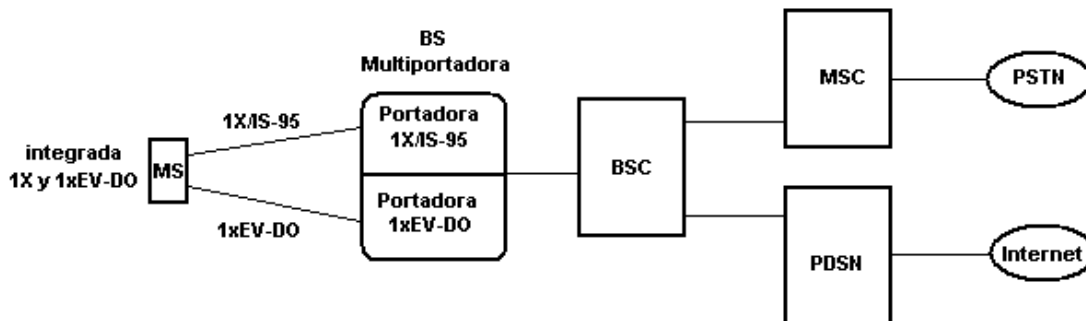


Figura 1.6 Arquitectura de una red integrada cdma2000 1X - 1xEV-DO

### 1.3.2.2.1.2 Ventajas de 1xEV-DO

#### Ventajas para el usuario final

- El usuario final dispone de tasas de datos pico de hasta 2,4 Mbps.
- Disponen de dispositivos que ofrecen acceso tanto a las redes de voz CDMA IS-95/1X, como a redes de datos de alta velocidad 1xEV-DO.
- 1xEV-DO proporciona un modo de operación “always-on”. Una vez que se active el dispositivo de usuario, éste solo tiene que registrarse una vez, y puede iniciar otras sesiones sin tener que registrarse de nuevo. Cuando el usuario entra en un estado de inactividad, el tiempo de reconexión es menor a 0,5 segundos. Esto le permite al usuario entrar a dicho estado cuando no utilice ningún recurso radio minimizando el consumo de potencia.

## **Ventajas para los operadores**

- Eficiencia espectral: 1xEV-DO utiliza eficientemente el espectro y proporciona alta capacidad en una sola portadora de 1,25 MHz.
- Alta calidad del servicio: Ya que se separan los servicios de datos y voz en dos portadoras diferentes, se mantiene una alta calidad de voz y altas tasas de datos simultáneamente.
- Debido a que 1xEV-DO tiene una alta capacidad utilizando la misma cantidad de recursos de red, se disminuye el costo por bit para los paquetes de datos.
- Ya que 1xEV-DO puede integrarse con los sistemas cdma2000 1X e IS-95, los operadores pueden utilizar los mismos PDSN, BSC, BS, torres, antenas y planes de red.

### **1.3.2.2.2 1xEV-DV**

Con la aparición de cdma2000 1xEV-DV, los operadores de red disponen de un mayor rendimiento en cuanto a la tasa de datos mientras ofrecen simultáneamente servicios de voz sobre la misma portadora de radio frecuencia. Debido al crecimiento de la demanda de mayor capacidad y mayores servicios de paquetes de datos, la industria ha intentado mejorar el rendimiento de datos de las redes de tercera generación. La tecnología 1xEV-DV se desarrolló para satisfacer estos requerimientos. 1xEV-DV es una mejora a la capacidad de transporte de datos de cdma2000 que está diseñada para alcanzar tasas de datos significativamente mayores que los sistemas cdma2000 actuales. El sistema 1xEV-DV está diseñado para manejar una alta eficiencia espectral, compatibilidad hacia atrás con los sistemas IS-95 y cdma2000 1X, soportar un mayor rango de aplicaciones y manejar servicios de voz por conmutación de circuitos en tiempo real en la misma portadora de radiofrecuencia. Éste estándar fue aprobado en mayo de 2002 por la TIA y la ITU como un estándar oficial de tercera generación, cdma2000 1xEV-DV maneja tasas de datos pico de 3,09 Mbps. Debido a que 1xEV-DV soporta servicios simultáneos de voz y datos, no requiere un nuevo espectro dedicado específicamente para tráfico de datos. Ésta característica representa para los operadores de CDMA una estructura más rentable que otras opciones evolutivas. Éste modelo evolutivo permite a los operadores tener una flexibilidad excepcional para soportar las fluctuaciones diarias en la demanda de capacidad. Cuando se utiliza para voz, datos o voz y datos combinados, 1xEV-DV asigna los recursos de voz necesarios durante las horas pico de tráfico de voz , mientras

proporciona portadoras con los recursos necesarios para cumplir con la demanda creciente de capacidad de datos durante las horas de alto tráfico de datos. 1xEV-DV es una verdadera actualización de los sistemas cdma2000 1X que además reutiliza la mayor parte de los recursos de las estaciones base existentes, manteniendo la cobertura de la red.

#### 1.3.2.2.1 Arquitectura de red de 1xEV-DV

La figura 1.7 muestra la arquitectura básica de 1xEV-DV. La migración solo requiere una simple actualización de BS, BSC, PDSN y del AAA.

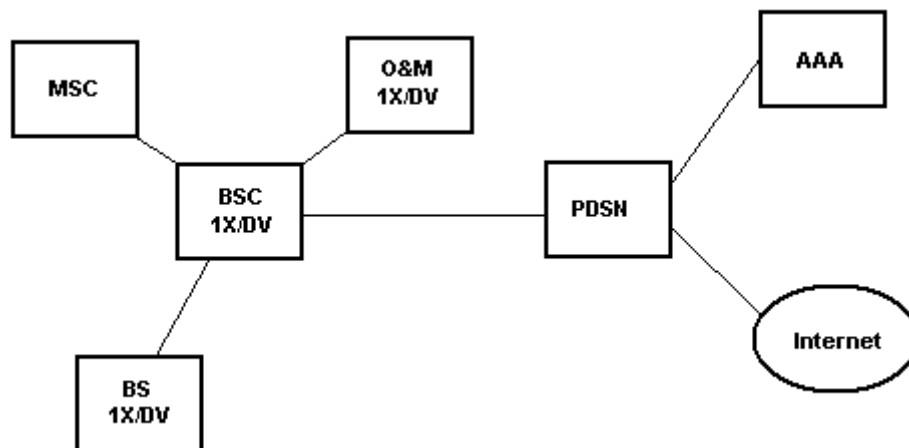


Figura 1.7 Arquitectura básica de 1xEV-DV

#### 1.3.2.2.2 Características de 1xEV-DV

- **Capacidad del enlace descendente** - 1xEV-DV incluye varias mejoras - incluyendo modulación y esquemas de codificación adaptativos, el uso de multiplexación por división de tiempo y multiplexación por división de código, un canal de paquetes de datos descendente, ARQ híbrido en el nivel físico- para manejar tasas de datos en el enlace descendente de hasta 3,09 Mbps.
- **Compatibilidad hacia atrás** - Debido a que 1xEV-DV incorpora un número relevante de características de los estándares previos de cdma2000 - tales como la reutilización de los canales del enlace ascendente de cdma2000 1X,

interoperabilidad IOS<sup>12</sup>, procedimientos del nivel de control de acceso al medio (MAC, Medium Access Control) y de señalización de cdma2000 1X, y los handoffs- proporciona soporte para voz y servicios heredados de sistemas CDMA anteriores. Para los operadores, ésta característica les permite ampliar la vida útil de la infraestructura existente mientras se sigue un suave proceso de evolución desde la infraestructura 1X.

- **Voz y datos simultáneos** - 1xEV-DV soporta servicios de voz y datos en los enlaces ascendente y descendente. Por ejemplo, una red 1xEV-DV puede soportar usuarios de voz 1X y usuarios de datos 1xEV-DV al mismo tiempo sobre el mismo canal, o usuarios 1xEV-DV pueden tener sesiones activas de voz 1X y datos 1xEV-DV simultáneamente. Esta capacidad les da a los operadores una mayor flexibilidad espectral, la habilidad para compartir el espectro de voz y datos, y libertad para proporcionar servicios simultáneos de voz y datos.
- **Múltiples tipos de tráfico** - La especificación soporta la multiplexación de señal y datos de usuario sobre el canal de paquetes de datos y múltiples sesiones de datos simultáneas. Esta capacidad permite a los usuarios utilizar más de una aplicación - voz y datos - al mismo tiempo. Para los operadores esta capacidad se traduce en un ganancia por la utilización de múltiples aplicaciones simultáneas, sin dedicar un canal separado para cada aplicación.
- **Nuevos canales** - La especificación 1xEV-DV incorpora nuevos canales de control y tráfico. En el enlace descendente se añaden: Un nuevo Canal de Control de Paquetes de Datos Descendente (F-PDCCCH, Forward - Packet Data Control Channel), y un nuevo canal de tráfico, el Canal de Paquetes de Datos (F-PDCH, Forward - Packet Data Channel).
- **Multiplexación TDM/CDM** - 1xEV-DV es el único estándar en el camino de evolución de cdma2000 que permite multiplexación tanto TDM como CDM, prefiriendo TDM donde esta tecnología trabaja mejor, y soportando CDM para

---

<sup>12</sup> La especificación de interoperabilidad (IOS, Interoperability specification) define los estándares y las interfases entre las redes de acceso radioeléctrico y las redes de conmutación de circuitos o paquetes. La interfaz entre las redes de acceso radioeléctrico y las redes de conmutación de paquetes se conoce como interfaz R-P.

WAP, VoIP, video y otros servicios de datos. Debido a que los datos se envían en ráfagas y no en forma continua, la multiplexación estadística TDM/CDM permite al sistema maximizar la ganancia de throughput<sup>13</sup>,

- **ARQ híbrido** - 1xEV-DV traslada el ARQ desde los niveles superiores hacia el nivel físico, para mantener un gran ancho de banda por medio de retransmisiones rápidas de tramas erróneas. En lugar de descartar las transmisiones fallidas, la técnica del ARQ híbrido combina estos intentos fallidos con los intentos en curso.
- **Modulación y codificación adaptativa** - Para proporcionar una adaptación en tiempo real al cambiante ambiente de radiofrecuencia, 1xEV-DV utiliza modulación y codificación variables en el enlace descendente para de ésta forma asignarles a los usuarios la mejor tasa de modulación y codificación de acuerdo a las condiciones del canal.
- **Selección de celda** - Se le permite al dispositivo móvil seleccionar el mejor sector de servicio.

#### 1.3.2.2.2.3 Ventajas de 1xEV-DV

##### Ventajas para el usuario

- Este estándar acerca al usuario final realmente hacia la tercera generación mejorando las tasas de datos y permitiéndole aplicaciones simultáneas de voz y datos en el mismo dispositivo. Por ejemplo, puede mantener una conversación mientras se transfiere un archivo de correo electrónico.
- El usuario final se beneficiará de la baja latencia en el tiempo de respuesta del sistema 1xEV-DV.
- La eficiencia soportada por 1xEV-DV le permitirá a los operadores desplegar servicios de datos más rápidamente, más efectivamente y a un menor costo. Estas capacidades se traducen a los usuarios como mejores servicios a menores precios.

---

<sup>13</sup> Según la norma ITU-T I.113, el Throughput, es un parámetro que describe la velocidad de servicio. Es el número de bits de datos transmitidos exitosamente en una dirección entre dos puntos de referencia por unidad de tiempo.

### **Ventajas para los operadores**

- Los operadores pueden implementar cdma2000 1xEV-DV para soportar servicios de voz y datos en la misma portadora de radiofrecuencia. De esta forma pueden nivelar sus inversiones en la red de tercera generación con la demanda real del mercado.
- Soporta servicios tales como distribución de video por medio de una conexión de paquetes de datos en tiempo real.
- La asignación dinámica bajo demanda del ancho de banda de cdma2000 1xEV-DV le permitirá a los operadores balancear su tráfico de voz y datos. Por ejemplo, los operadores podrán asignar los recursos no utilizados de tráfico de voz para tráfico de datos.
- Maximizando el uso del espectro y la infraestructura existente, los operadores podrán prolongar la vida útil de dicha infraestructura e incrementar la capacidad mientras actualizan la red (Por ejemplo, instalando una nueva tarjeta de canal), en lugar de aumentar el número de estaciones base.



## 2. NIVEL FÍSICO DE CDMA2000 1X RC3

### INTRODUCCIÓN

El nivel físico de cdma2000 es compatible con los sistemas IS-95 y proporciona un camino de migración para los operadores celulares cdmaOne y TDMA que les permite introducir los sistemas cdma2000 gradualmente en las redes existentes sin alterar ni interrumpir el servicio. El nivel físico de cdma2000 se divide en dos enlaces: Enlace Ascendente y Enlace Descendente; cada uno de estos enlaces está conformado por dos grupos de canales: Canales Comunes y Canales Dedicados. Los canales dedicados ofrecen una conexión punto a punto mientras que los canales comunes ofrecen un acceso punto-multipunto. Además cdma2000 clasifica los diferentes modos de operación (cdma2000 1X y cdma2000 3X<sup>14</sup>) en radio configuraciones (RC, radio configuration) para los enlaces ascendente y descendente. Por ejemplo, las radio configuraciones 1 y 2 (RC1 y RC2) corresponden a los modos de operación RS 1 y RS 2 de IS-95. Sin embargo, las radio configuraciones superiores a la RC2 definen nuevos modos de operación en cdma2000.

Debido a que en este proyecto se simula un enlace unidireccional de tráfico de voz móvil - estación base - móvil en la RC 3 a 9,6 kbps, éste capítulo presentará los aspectos más relevantes del nivel físico haciendo énfasis en los canales Fundamental Ascendente y Fundamental Descendente de ésta radio configuración en el modo 1X.

---

<sup>14</sup> Cdma2000 1X se refiere al modo en el que el ancho de banda es compatible con IS-95, es decir su ancho de banda es de 1,25 MHz. Cdma2000 3X se refiere a la opción multiportadora, la cual utiliza tres portadoras 1X para incrementar la velocidad de transmisión de datos hacia la estación móvil en el enlace descendente.

## 2.1 ENLACE ASCENDENTE (REVERSE LINK)

El enlace ascendente en cdma2000 comprende las señales transmitidas desde la estación móvil hacia la estación base.

### 2.1.1 Señales del enlace CDMA ascendente (Reverse Channel)

Las señales transmitidas en el canal de tráfico ascendente (es decir, el Canal de Control Dedicado Ascendente, Canal Fundamental Ascendente, Canal Suplementario Ascendente, o el Canal de Código Suplementario) se especifican por medio de radio configuraciones. Hay 6 radio configuraciones para el canal de tráfico ascendente (Ver tabla 2.1).

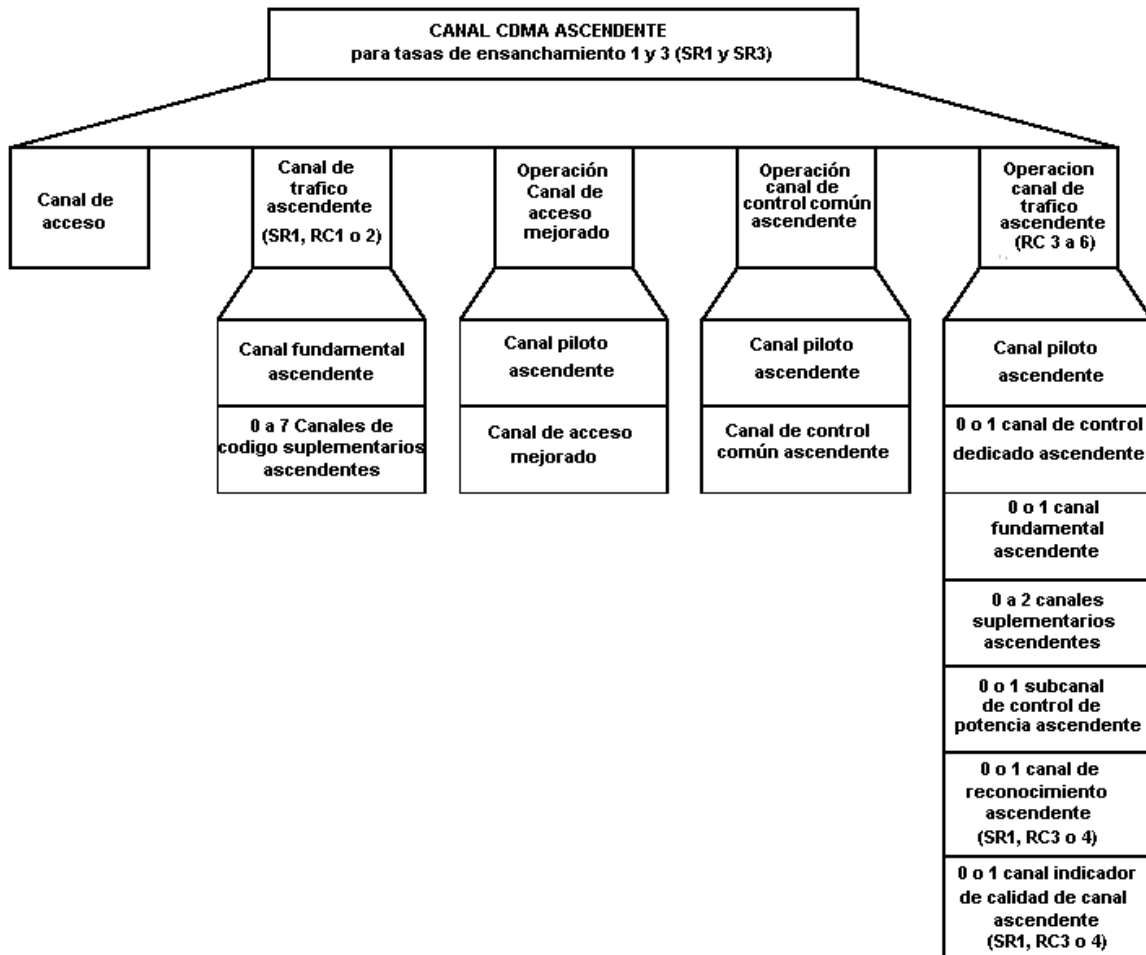
**Tabla 2.1 Características de las radio configuraciones para el canal CDMA ascendente**

Radio configuración	Tasa de ensanchamiento <sup>15</sup> asociada	Tasa de datos, FEC y características generales
1	1	Tasa de datos de 1200, 2400, 4800, y 9600 bps con $R = 1/3$ , modulación ortogonal 64-aria.
2	1	Tasa de datos de 1800, 3600, 7200, y 14400 bps con $R = 1/2$ , modulación ortogonal 64-aria.
3	1	Tasa de datos de 1200, 1350, 1500, 2400, 2700, 4800, 9600, 19200, 38400, 76800, y 153600 bps con $R = 1/4$ , 307200 bps con $R = 1/2$ .
4	1	Tasa de datos de 1800, 3600, 7200, 14400, 28800, 57600, 115200, y 230400 bps con $R = 1/4$ .
5	3	Tasa de datos de 1200, 1350, 1500, 2400, 2700, 4800, 9600, 19200, 38400, 76800, y 153600 bps con $R = 1/4$ , 307200 y 614400 bps con $R = 1/3$ .
6	3	Tasa de datos de 1800, 3600, 7200, 14400, 28800, 57600, 115200, 230400, y 460800 bps con $R = 1/4$ , 1036800 bps con $R = 1/2$ .

### 2.1.2 Estructura del canal ascendente

La estructura de los canales transmitidos por la estación móvil se muestra en la figura 2.1.

<sup>15</sup> Tasa de ensanchamiento (SR, Spreading Rate) Es la tasa de chips de pseudoruido (PN, Pseudo Noise) de los canales de los enlaces ascendente y descendente de cdma2000 expresado en múltiplos de 1,2288Mcps . SR1 se refiere a "1X" (1,2288Mcps) y SR3 se refiere a "3X" (3,6864 Mcps) .



*Figura 2.1 Estructura del canal CDMA ascendente*

### 2.1.2.1 Canales comunes compatibles hacia atrás de cdma2000 1X

La principal característica de compatibilidad hacia atrás del enlace ascendente en cdma2000 es la presencia del Canal de Acceso Ascendente (RACH, Reverse Access Channel) que es idéntico al utilizado en IS-95.

### 2.1.2.2 Nuevos canales comunes de cdma2000 1X

El Canal de Control Común Ascendente (RCCCH, Reverse Common Control Channel) y el Canal de Acceso Mejorado Ascendente (REACH, Reverse Enhanced Access Channel)

se introdujeron para proporcionar un acceso más confiable. Además, algunos servicios de ráfagas de datos que no eran posibles sobre el canal de acceso de IS-95 ahora son posibles utilizando estas nuevas características. En la operación del canal REACH, es posible transmitir una ráfaga en forma de una cabecera REACH (Figura 2.2). De lo contrario, las secuencias de transmisión para el REACH y el RCCCH se muestran en la figura 2.3. Estos dos canales se transmiten con el mismo código de Walsh y su utilización es diferente dependiendo de la información que se esté transmitiendo.

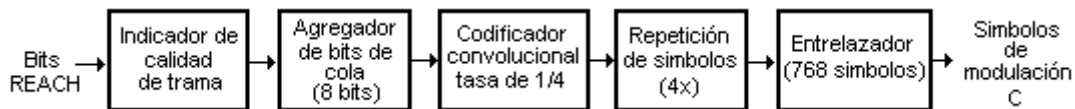


Figura 2.2 Cabecera REACH

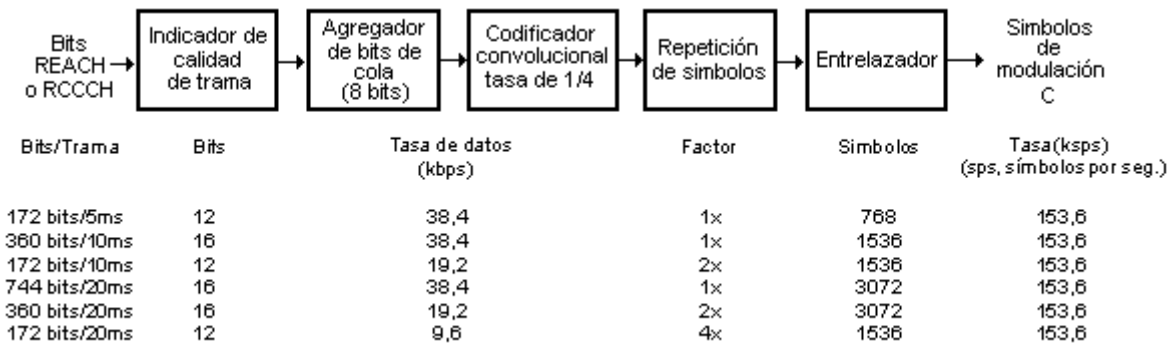


Figura 2.3 REACH y RCCCH

### 2.1.2.3 Canales dedicados cdma2000 1X

Existen varios canales de control dedicados para el enlace ascendente de cdma2000. Entre estos están el Canal Piloto Ascendente (RPICH, Reverse Pilot Channel), el Canal Fundamental Ascendente (RFCH, Reverse Fundamental Channel), el Canal Suplementario Ascendente (RSCH, Reverse Supplemental Channel), y el Canal de Control Dedicado Ascendente (RDCCH, Reverse Dedicated Control Channel). El RPICH tiene comandos para el control rápido de potencia del enlace descendente multiplexados en un flujo constante de ceros a una tasa de 800 Hz. (Ver figura 2.4)

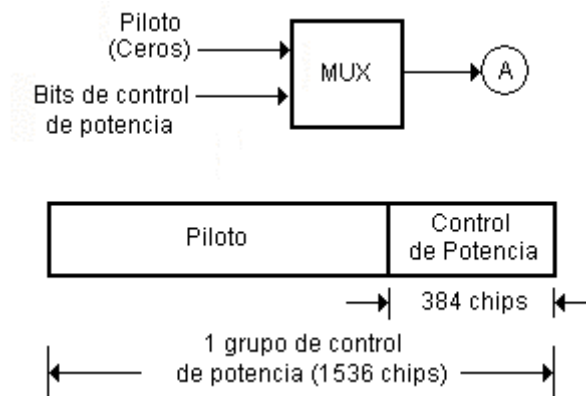


Figura 2.4 RPICH

Las secuencias de transmisión para RDCCH, RFCH y RSCH en RC3 se muestran en las figuras 2.5 y 2.6.

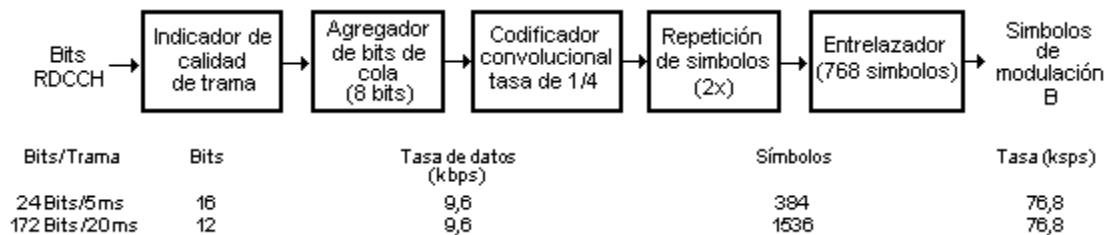
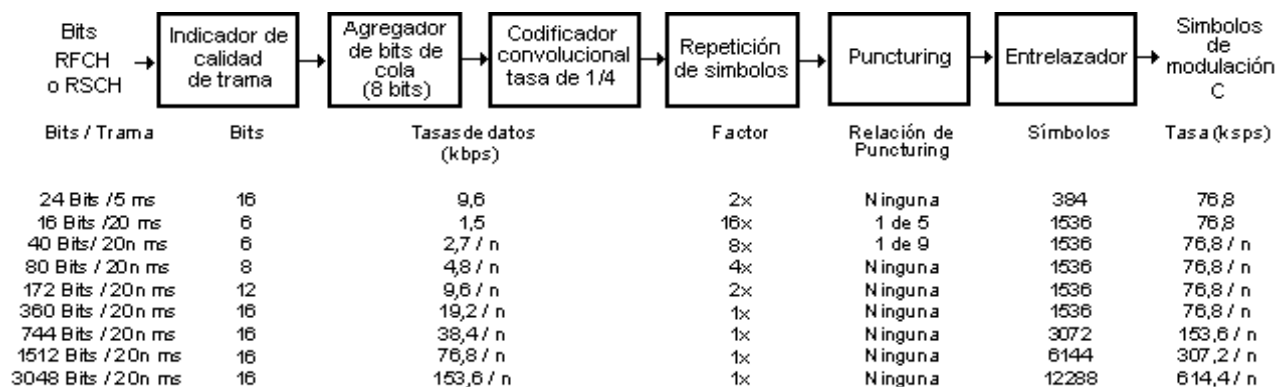


Figura 2.5 RDCCH para RC3



n= longitud de trama en múltiplos de 20ms; n puede ser igual a 1,2 o 4  
sps= símbolos por segundo

Figura 2.6 RFCH y RSCH para RC3

La estructura básica de ensanchamiento para RC3 se muestra en la figura 2.7.

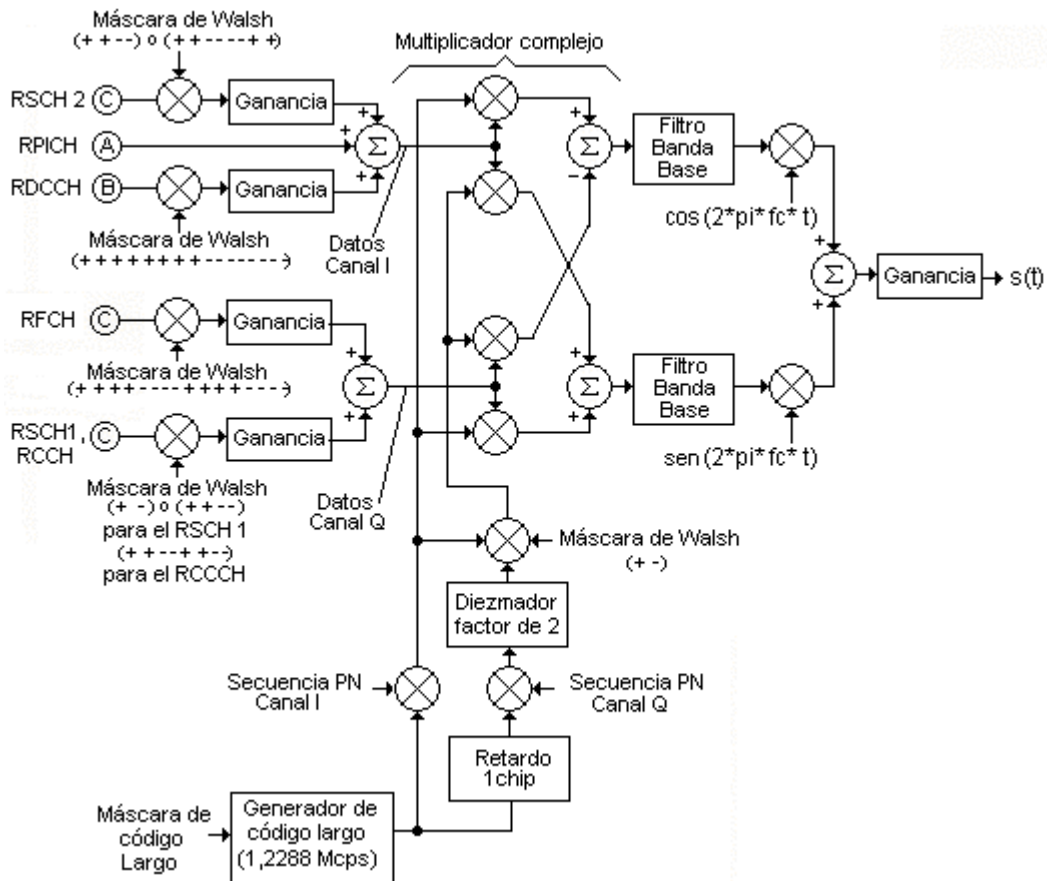


Figura 2.7 Ensanchamiento del enlace ascendente en RC3

### 2.1.3 Parámetros de modulación del enlace ascendente

Los parámetros de modulación para los canales de tráfico cdma2000 1X del enlace ascendente operando en la tasa de ensanchamiento 1 y en la RC 3 se muestran en la tabla 2.2.

**Tabla 2.2 Parámetros de modulación de los canales fundamental ascendente y suplementario ascendente para tramas de 20 ms y RC 3**

Parámetros	Tasas de datos (bps)				Unidades
	9600xN	4800	2700	1500	
Tasa de chips PN (Pseudo – Ruido, Pseudo-Noise)	1,2288	1,2288	1,2288	1,2288	Mcps (cps, chips por seg.)
Tasa de codificación	$\frac{1}{4}$ (N < 32) $\frac{1}{2}$ (N = 32)	4	8	16	Código repetido / símbolos de código
Tasa de Puncturing	1	1	8/9	4/5	Símbolos entrelazador / símbolos de código repetidos
Tasa de símbolos de modulación	76800 (N ≤ 2) 38400xN (N = 4 u 8) 614400 (N ≥ 16)	76800	76800	76800	sps (símbolos por segundo)
Longitud Walsh	Para el RFCH : 16 Para el RSCH 8,4 o 2 (N ≤ 4) 4 o 2 (N = 8) 2 (N ≥ 16)	16(RFCH) 8,4 o 2 (RSCH)			
Ganancia de Procesamiento	128/N	256	455,1	819,2	PN chips / bit

Nota: N = 1, 2, 4, 8, 16 o 32 que corresponden a las tasas de datos de 9600, 19200, 38400, 76800, 153600 o 307200

### 2.1.3.1 Velocidades de transmisión de datos

Las tasas de datos para los canales que operan con SR1 se muestran en la tabla 2.3.

### 2.1.3.2 Corrección de errores directa (FEC, Forward Error Correction)

Los tipos de FEC para los canales con tasa de ensanchamiento 1 deben ser como se especifican en la tabla 2.4.

**Tabla 2.3 Tasas de datos para SR1**

Tipo de canal		Tasa de datos (bps)
Canal de acceso		4800
Canal de acceso mejorado	cabecera	9600
	Datos	38400 (tramas de 5, 10, o 20 ms), 19200 (tramas de 10 o 20 ms), o 9600 (tramas de 20 ms)
Canal de control común ascendente		38400 (tramas de 5, 10, o 20 ms ), 19200 (tramas de 10 o 20 ms), o 9600 (tramas de 20 ms)
Canal de control dedicado ascendente	RC3	9600
	RC4	14400 (tramas de 20 ms ) o 9600 (tramas de 5 ms )
Canal fundamental ascendente	RC1	9600, 4800, 2400, o 1200
	RC2	14400, 7200, 3600, o 1800
	RC3	9600, 4800, 2700, o 1500 (tramas de 20 ms) o 9600 (5 ms)
	RC4	14400, 7200, 3600, o 1800 (tramas de 20 ms) o 9600 (tramas de 5 ms)
Canal de código suplementario ascendente	RC1	9600
	RC2	14400
Canal suplementario ascendente	RC3	307200, 153600, 76800, 38400, 19200, 9600, 4800, 2700, o 1500 (tramas de 20 ms) 153600, 76800, 38400, 19200, 9600, 4800, 2400, o 1350 (tramas de 40 ms) 76800, 38400, 19200, 9600, 4800, 2400, o 1200 (tramas de 80 ms)
		RC4
Canal de reconocimiento ascendente		800
Canal indicador de calidad de canal ascendente		3200 o 800

### 2.1.3.3 Codificación convolucional

La codificación convolucional es una multiplexación de dos o más convoluciones diferentes de la misma fuente de datos en un canal. Esto se logra de manera continua con el uso de  $k-1$  registros de corrimiento y sumadores modulo 2, donde  $k$  es la longitud restringida del código (constraint length)<sup>16</sup>. Todos los códigos convolucionales utilizados en cdma2000 deben tener una longitud restringida de 9. Los sumadores modulo dos son compuertas XOR cuyas entradas son combinaciones diferentes de los estados de los registros de corrimiento y cuyas salidas se multiplexan para formar el flujo de salida. El codificador convolucional toma como entrada a un flujo de datos a una tasa de bits de  $R_s$ ,

<sup>16</sup> Constraint length, representa el número de bits en la memoria del codificador que afecta la generación de los bits de salida. Se define como  $K = k(m-1)$ , donde  $k$  es el número de bits de entrada y  $m$  es el número de registros.



codifica estos datos y genera una salida codificada a una tasa de bits de  $R_t$ . La tasa de codificación se define como la relación  $R_s/R_t$ .

**Tabla 2.4 Tipos de FEC para SR1**

TIPO DE CANAL	FEC	R
Canal de acceso	Convolutacional	1/3
Canal de acceso mejorado	Convolutacional	1/4
Canal de control común ascendente	Convolutacional	1/4
Canal de control dedicado ascendente	Convolutacional	1/4
Canal indicador de calidad de canal ascendente	Bloque ninguno	4/12 -
Canal fundamental ascendente	Convolutacional	1/3 (RC 1) 1/2 (RC 2) 1/4 (RC 3 y 4)
Canal de código suplementario ascendente	Convolutacional	1/3 (RC 1) 1/2 (RC 2)
Canal suplementario ascendente	Convolutacional	1/4 (RC 3, $N \leq 3048$ ) 1/2 (RC 3, $N > 3048$ ) 1/4 (RC 4)
	Turbo( $N > 360$ )	1/4 (RC 3, $N \leq 3048$ ) 1/2 (RC 3, $N > 3048$ ) 1/3, 1/4, o 1/5 (RC 4)

Nota: N es el número de bits de canal por trama

#### 2.1.3.3.1 Código convolutacional de tasa 1/4

Las funciones generadoras para el código de tasa 1/4 deben ser  $g_0$  igual a 765 (octal),  $g_1$  igual a 671 (octal),  $g_2$  igual a 513 (octal), y  $g_3$  igual a 473 (octal). Este código genera 4 símbolos de código por cada bit de entrada al codificador. Estos símbolos de código deben estar ordenados a la salida de tal forma que el símbolo de código ( $c_0$ ) codificado con la función generadora  $g_0$  sea el primero en salir, el símbolo de código  $c_1$  el segundo y así sucesivamente. El estado del codificador convolutacional, en la inicialización, debe tener todos los bits en cero. El primer símbolo de código que sale después de la inicialización debe ser el generado por  $g_0$ . El codificador para este código se ilustra en la figura 2.8.

#### 2.1.3.4 Repetición de símbolos de código.

Los símbolos de código a la salida del codificador FEC se deben repetir como se especifica en la tabla 2.5. El factor de repetición de símbolos es  $N/L$ , donde N es el tamaño de bloque del entrelazador y L es el número de símbolos por trama a la salida del codificador FEC

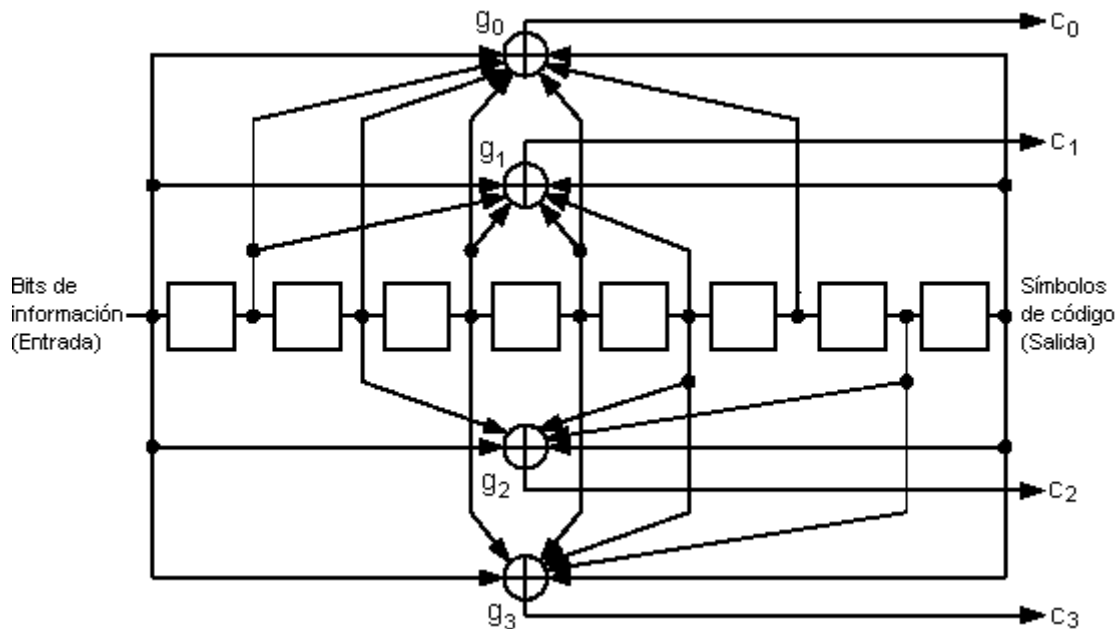


Figura 2.8 Codificador convolucional con  $K=9$  y tasa de  $1/4$

Tabla 2.5 Repetición de símbolos de código

Tipo de canal		Número de símbolos de código repetidos / símbolos de código
Canal de acceso (Solo para SR1)		2
Canal de acceso mejorado		4 (9600 bps) 2 (19200 bps) 1 (38400 bps)
Canal común de control ascendente		4 (9600 bps) 2 (19200 bps) 1 (38400 bps)
Canal de reconocimiento ascendente		24
Canal indicador de calidad de canal ascendente		1 (3200 bps) 12 (800 bps)
Canal dedicado de control ascendente		2
Canal fundamental ascendente	RC 1 o 2	8 (1200 o 1800 bps) 4 (2400 o 3600 bps) 2 (4800 o 7200 bps) 1 (9600 o 14400 bps)
	RC 3, 4, 5 o 6	16 (1500 o 1800 bps) 8 (2700 o 3600 bps) 4 (4800 o 7200 bps) 2 (9600 o 14000 bps)
Canal de código suplementario ascendente		1
Canal suplementario ascendente	Tramas de 20 ms	16 (1500 o 1800 bps) 8 (2700 o 3600 bps) 4 (4800 o 7200 bps) 2 (9600 o 14400 bps) 1 (> 14400 bps)

### 2.1.3.5 Puncturing

La tabla 2.6 muestra la tasa de código FEC, la relación de puncturing, y los patrones de puncturing que se deben utilizar en las diferentes radio configuraciones. En el patrón de puncturing, un '0' significa que el símbolo debe eliminarse y un '1' significa que el símbolo debe dejarse pasar. El patrón de puncturing debe repetirse para todos los símbolos restantes en la trama.

**Tabla 2.6 Puncturing**

Tasa del código base	Relación de puncturing	Patrón de puncturing	Radio configuraciones asociadas
1/4	8 de 24	'111010111011 101011101010'	4 y 6
1/4	4 de 12	'110110011011'	4
1/4	1 de 5	'11110'	3 y 5
1/4	1 de 9	'111111110'	3 y 5
1/2	2 de 18	'111011111 111111110'	6

Por ejemplo, el patrón de puncturing de 5 símbolos para la RC 3 es '11110', significa que desde el primer al cuarto símbolo pasan, mientras que el quinto símbolo se elimina.

### 2.1.3.6 Entrelazador de bloque (Block interleaving)

Antes de la modulación y la transmisión la estación móvil debe entrelazar todos los símbolos de código que han pasado por las etapas de repetición y puncturing, para los Canales de Acceso, de Acceso Mejorado, de Control Común Ascendente, y el Canal de Tráfico Ascendente. Para el Canal de Acceso, el Canal de Acceso Mejorado, el Canal de Control Común Ascendente y el Canal de Tráfico Ascendente con RC 3,4,5 y 6 los símbolos de entrada se escriben secuencialmente en el entrelazador en las direcciones 0 a N-1 donde N es el tamaño del bloque. Los símbolos entrelazados se leen en un orden permutado con el i-ésimo símbolo leído de la dirección  $A_i$ , como se muestra a continuación:

$$A_i = 2^m (i \bmod(J)) + BRO_m(\lfloor i/J \rfloor) \quad (2.1)$$

Donde  $i = 0$  hasta  $N-1$

$\lfloor x \rfloor$  indica el mayor entero menor o igual que  $x$  (parte entera), y  $BRO_m(y)$  indica el valor binario invertido del  $m$ -ésimo bit de “ $y$ ” (BRO, Bit Reversed Order) por ejemplo  $BRO_3(6)=3$ , se pasa 110 a 011 cambiando el sentido de lectura y “mod” es la división módulo . Los parámetros ( $m$  y  $J$ ) del entrelazador se muestran en la tabla 2.7.

**Tabla 2.7 Parámetros del entrelazador**

Tamaño del bloque	m	J
384	6	6
768	6	12
1536	6	24
3072	6	48
6144	7	48
12288	7	96
576	5	18
2304	6	36
4608	7	36
9216	7	72
18432	8	72
36864	8	144

### 2.1.3.7 Modulación y ensanchamiento ortogonales.

Cuando se transmite en el Canal de Acceso o el Canal de Tráfico Ascendente con RC 1 y 2, la estación móvil utiliza modulación ortogonal. Cuando se transmite en Canal de Acceso Mejorado, el Canal de Control Común Ascendente, el Canal de Reconocimiento Ascendente, el Canal Indicador de Calidad de Canal Ascendente, o el Canal de Tráfico Ascendente en RC 3 a 6, la estación móvil utiliza ensanchamiento ortogonal.

#### 2.1.3.7.1 Modulación ortogonal

Cuando se transmite en el Canal de Acceso o en el Canal de Tráfico Ascendente en las RC 1 o 2, la modulación para el canal CDMA ascendente debe ser una modulación ortogonal 64-aria. Uno de los 64 símbolos de modulación posibles se transmite por cada 6 símbolos de código repetidos (símbolos que salen del repetidor). El símbolo de modulación debe ser uno de los 64 códigos mutuamente ortogonales generados utilizando las funciones de Walsh (Walsh<sup>64</sup>). Estos símbolos de modulación están numerados de 0 a 63. Los símbolos de modulación deben seleccionarse de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$\text{Índice del símbolo de modulación} = C_0 + 2C_1 + 4C_2 + 8C_3 + 16C_4 + 32C_5 \quad (2.2)$$

Donde  $c_5$  debe representar el último (o más reciente) y  $c_0$  el primer (o más antiguo) símbolo de código repetido de valor binario ('0' y '1') de cada grupo de seis símbolos de código repetidos que forman el índice del símbolo de modulación. La matriz de 64 por 64 correspondiente a la función Walsh<sup>64</sup> puede generarse por medio del siguiente procedimiento recursivo:

$$H_1 = 0 \quad H_2 = \begin{matrix} 0 & 0 \\ 0 & 1 \end{matrix} \quad H_4 = \begin{matrix} 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 0 \end{matrix} \quad H_{2N} = \begin{matrix} H_N & \overline{H_N} \\ H_N & \overline{H_N} \end{matrix}$$

Donde N es una potencia de 2 y  $\overline{H_N}$  denota el complemento binario de  $H_N$ . Dentro de un símbolo de modulación, los chips de Walsh se deben transmitir en el orden de 0,1,2,...,63. El periodo de tiempo requerido para transmitir un símbolo de modulación debe ser igual a 1/4800 seg. El periodo de tiempo asociado a una 64ava parte del símbolo de modulación se define como un chip de Walsh y debe ser igual a 1/307200 seg.

#### 2.1.3.7.2 Ensanchamiento ortogonal

Cuando se transmite en el Canal Piloto Ascendente, en el Canal de Acceso Mejorado, en el Canal de Control Común Ascendente, el Canal de Reconocimiento Ascendente, el Canal Indicador de Calidad de Canal, o el Canal de Tráfico Ascendente con radio configuraciones 3 a 6, la estación móvil debe utilizar ensanchamiento ortogonal. La tabla 2.8 especifica las funciones de Walsh que se aplican a los canales CDMA ascendentes.

**Tabla 2.8 Funciones de Walsh para los canales CDMA ascendentes**

Tipo de canal	Función de Walsh
Canal Piloto ascendente	$W_0^{32}$
Canal de acceso mejorado	$W_2^8$
Canal de control común ascendente	$W_2^8$
Canal de control dedicado ascendente	$W_8^{16}$
Canal de reconocimiento ascendente	$W_{16}^{64}$
Canal indicador de calidad de canal	$W_{12}^{16}$
Canal Fundamental ascendente	$W_4^{16}$
Canal Suplementario ascendente 1	$W_1^2$ o $W_2^4$
Canal Suplementario ascendente 1	$W_2^4$ o $W_6^8$

La función de Walsh  $W_n^N$  representa una función de Walsh de longitud N que se construye serialmente desde la n-ésima fila de una matriz de Hadamard de NxN con la cero-ésima

fila siendo la función de Walsh 0, la primera fila la función de Walsh 1, etc. Dentro de la función de Walsh n, los chips de Walsh deben transmitirse serialmente desde la n-ésima fila de izquierda a derecha. Las matrices de Hadamard pueden generarse por medio del siguiente procedimiento recursivo:

$$H_1 = 0 \quad H_2 = \begin{matrix} 0 & 0 \\ 0 & 1 \end{matrix} \quad H_4 = \begin{matrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 0 \end{matrix} \quad H_{2N} = \begin{matrix} H_N & H_N \\ H_N & \overline{H_N} \end{matrix}$$

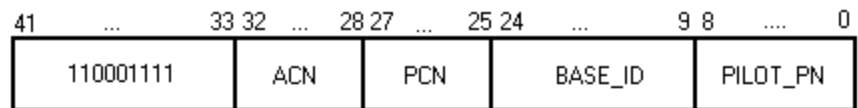
Donde N es una potencia de 2 y  $\overline{H_N}$  denota el complemento binario de  $H_N$ . Un canal de código que se ensancha utilizando la función de Walsh n del N-ario conjunto ortogonal ( $0 \leq n \leq N-1$ ) debe ser asignado a la función de Walsh  $W_n^N$ . Por ejemplo la función de Walsh  $W_1^4$  corresponde a la segunda fila de la matriz de Hadamard de longitud 4  $H_4$ , es decir '0 1 0 1'. La secuencia de ensanchamiento Walsh debe repetirse con un periodo de  $N/1,2288 \mu s$  para la tasa de ensanchamiento 1 y con un periodo de  $N/3,6864 \mu s$  para la tasa de ensanchamiento 3.

### 2.1.3.8 Ensanchamiento por secuencia directa

El ensanchamiento por secuencia directa que utiliza códigos largos debe aplicarse al Canal de Acceso y al Canal de Tráfico Ascendente con RC 1 y 2. Para el Canal de Acceso, esta operación involucra una suma módulo 2 del flujo de salida del modulador ortogonal 64-ario y el código largo. El código largo debe tener un periodo de  $2^{42} - 1$  chips y debe satisfacer la recursividad lineal especificada por el siguiente polinomio característico:

$$p(x) = x^{42} + x^{35} + x^{33} + x^{31} + x^{27} + x^{26} + x^{25} + x^{22} + x^{21} + x^{19} + x^{18} + x^{17} + x^{16} + x^{10} + x^7 + x^6 + x^5 + x^3 + x^2 + x^1 + 1 \quad (2.3)$$

Cada chip PN del código largo debe generarse por la suma modulo 2 del producto interno (producto punto) de una máscara de 42 bits y el vector de estado de 42 bits del generador de secuencias. La máscara utilizada para el código largo varía dependiendo del tipo de canal sobre el cual está transmitiendo la estación móvil. Ver figura 2.9.



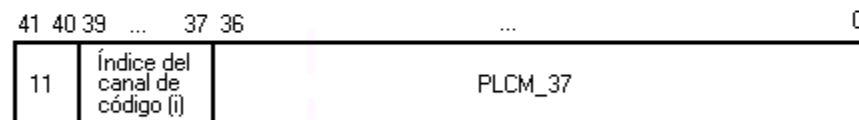
ACN - Número de canal de acceso

PCN - Número de canal de paginación

BASE\_ID - Identificación de Estación Base

PILOT\_PN - Índice del desplazamiento de la secuencia PN piloto para el canal CDMA descendente

a) Máscara de código largo para el canal de acceso



Índice de canal de código (i) :

'000' : Canal Fundamental Ascendente,

'001' - '111' : Canal de código suplementario ascendente  $i$ , ( $i = 1, \dots, 7$ )

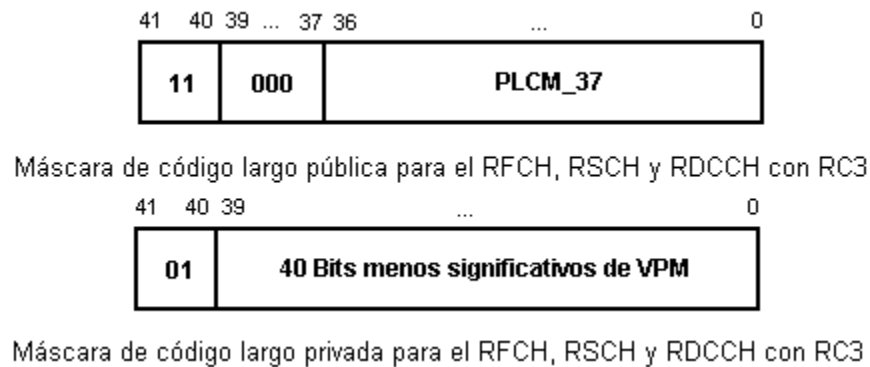
b) Máscara de código largo pública para el RFCH y los canales suplementarios de código ascendentes con RC 1 y 2.

*Figura 2.9 Formato de la máscara de código largo para Ensanchamiento por secuencia directa*

### 2.1.3.9 Ensanchamiento en cuadratura

Para el Canal de Acceso Mejorado, el Canal de Control Común Ascendente, el Canal de Reconocimiento Ascendente, el Canal Indicador de Calidad, y el Canal de Tráfico Ascendente con RC 3 a 6, los datos de los canales I y Q deben multiplicarse por una secuencia de ensanchamiento compleja antes del filtraje de banda base como se muestra en la figura 2.7. La secuencia de ensanchamiento en fase debe formarse por medio de una suma módulo 2 de la secuencia PN del canal I y la secuencia de código largo I. La secuencia de ensanchamiento en cuadratura debe formarse por medio de la suma módulo 2 de los siguientes tres términos: La función de Walsh  $W_1^2$ , la suma módulo 2 de la secuencia PN del canal I y la secuencia de código largo I, y la salida diezmada por un factor de 2 de la suma módulo 2 de la secuencia PN del canal Q y la secuencia de código largo Q. El código largo I para SR1 debe ser la secuencia de código largo especificada en 2.2.3.8. El código largo I para SR1 debe tener una tasa de chip de 1,2288 MHz. El código largo Q para SR1 debe ser el código largo I retardado en un chip. La máscara utilizada para generar el código largo I para SR1 varía dependiendo del tipo de canal en el que la estación móvil está transmitiendo. Cuando se transmite en el Canal de Tráfico

Ascendente, el Canal de Reconocimiento Ascendente, o en el Canal Indicador de Calidad de Canal ascendente, la estación móvil debe utilizar una de las siguientes máscaras de código largo: Máscara de código largo pública o máscara de código largo privada (Ver figura 2.10).



*Figura 2.10 Formato de máscara de código largo para ensanchamiento en cuadratura*

Para la máscara de código largo pública, los bits M36 a M0 deben ser especificados por PLCM\_37 (ver 2.3.6 en TIA/EIA IS-2000.5-C, "Recommended Minimum Performance Standards for cdma2000 Spread Spectrum Mobile Stations"). Los bits M41 a M37 deben fijarse a '11000'. La máscara de código largo pública se muestra en la figura 2.10. La máscara de código largo privada (Ver figura 2.10) debe ser así: M41 a M40 debe fijarse a '01'. M39 a M0 deben ser los 40 bits menos significativos de la VPM generada por el procedimiento Key\_VPM\_Generation<sup>17</sup>. M0 debe ser el menos significativo de la VPM. La máscara de código largo privada no cambia durante una llamada. Las secuencias PN I y Q utilizadas para el ensanchamiento en cuadratura son periódicas con periodo  $2^{15}$  chips para SR1. Estas secuencias para SR1 se muestran a continuación, Las secuencias PN deben basarse en los siguientes polinomios característicos:

$$P_I(x) = x^{15} + x^{13} + x^9 + x^8 + x^7 + x^5 + 1 \quad (\text{para la secuencia en fase I}) \quad (2.4)$$

y

$$P_Q(x) = x^{15} + x^{12} + x^{11} + x^{10} + x^6 + x^5 + x^4 + x^3 + 1 \quad (\text{para la secuencia en cuadratura Q}) \quad (2.5)$$

Las secuencias de longitud máxima de los registros de corrimiento de realimentación lineal  $i(n)$  y  $q(n)$  basadas en los anteriores polinomios tienen una longitud de  $2^{15} - 1$  y pueden generarse por medio de la siguiente función recursiva lineal:

<sup>17</sup> S.S0055 v1.0, Enhanced Cryptographic Algorithms, Enero de 2002



$$i(n) = i(n - 15) \oplus i(n - 10) \oplus i(n - 8) \oplus i(n - 7) \oplus i(n - 6) \oplus i(n - 2) \quad (2.6)$$

(teniendo a  $P_I(x)$  como polinomio característico)

y

$$q(n) = q(n - 15) \oplus q(n - 12) \oplus q(n - 11) \oplus q(n - 10) \oplus q(n - 9) \oplus q(n - 5) \oplus q(n - 4) \oplus q(n - 3) \quad (2.7)$$

(teniendo a  $P_Q(x)$  como polinomio característico)

donde  $i(n)$  y  $q(n)$  son los valores binarios ('0' y '1') y las sumas son módulo 2. Con el propósito de obtener las secuencias PN I y Q (de periodo  $2^{15}$ ), un '0' se inserta en  $i(n)$  y  $q(n)$  después de 14 ceros consecutivos de salida (Esto ocurre solo una vez en cada periodo); por consiguiente, las secuencias PN tienen una serie de 15 ceros consecutivos en lugar de 14. La tasa de chips debe ser 1,2288 Mcps. El periodo de la secuencia PN es  $32768/1228800 = 26,666\dots$  ms, y exactamente 75 repeticiones de secuencias PN ocurren cada dos segundos.

### 2.1.3.10 Filtraje banda base para SR1

Después de la operación de ensanchamiento, los flujos binarios de los canales I y Q se aplican a las entradas de los filtros banda base I y Q como se muestra en la figura 2.7. Los filtros banda base deben tener una respuesta en frecuencia  $S(f)$  que satisfaga los límites dados en la figura 2.11. Específicamente, la respuesta en frecuencia normalizada del filtro debe estar contenida dentro de  $\pm\delta_1$  en la banda pasante  $0 \leq f \leq f_p$ , y debe ser menor o igual a  $-\delta_2$  en la banda rechazada  $f \geq f_s$ . Los valores numéricos para los parámetros son  $\delta_1 = 1,5$  dB ,  $\delta_2 = 40$  dB,  $f_p = 590$  KHz y  $f_s = 740$  KHz.

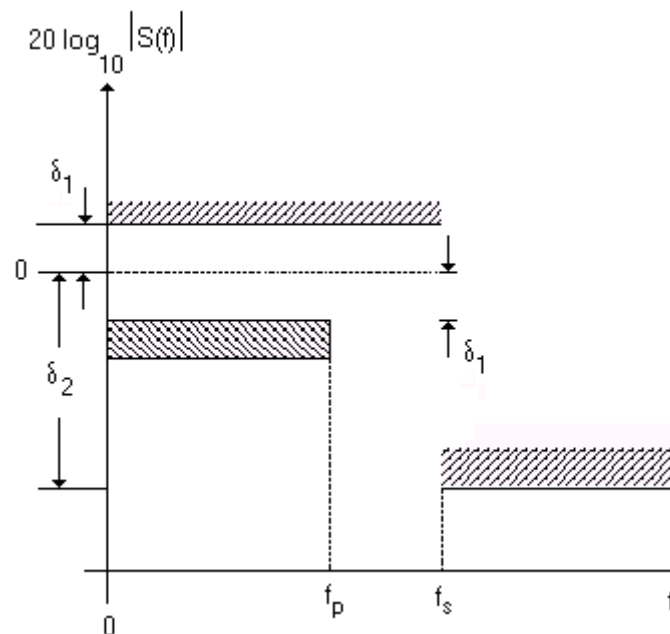


Figura 2.11 Límites de la respuesta en frecuencia de los filtros de banda base.

Sea  $s(t)$  la respuesta impulsiva del filtro banda base, entonces  $s(t)$  debería satisfacer la siguiente ecuación:

$$Error\_cuadratico\_medio = \sum_{K=0}^{\infty} [\alpha s(KT_s - \tau) - h(k)]^2 \leq 0,03 \quad (2.8)$$

Donde las constantes  $\alpha$  y  $\tau$  se utilizan para minimizar el error cuadrático medio. La constante  $T_s$  es igual a 203,451...ns.  $T_s$  es un cuarto de la duración de un chip PN. Los valores de los coeficientes  $h(k)$ , para  $k < 48$ , están dados en la tabla 2.9;  $h(k)=0$  para  $k \geq 48$ . Note que  $h(k)$  es igual a  $h(47 - k)$ .

#### 2.1.4 Canal fundamental ascendente.

Este canal se utiliza para la transmisión de información de usuario y señalización a la estación base durante una llamada. El Canal de Tráfico ascendente puede contener hasta un canal fundamental ascendente.

**Tabla 2.9 Coeficientes de  $h(k)$  para SR1**

<b>K</b>	<b><math>h(k)</math></b>
0 - 47	-0,025288315
1 - 46	-0,034167931
2 - 45	-0,035752323
3 - 44	-0,016733702
4 - 43	0,021602514
5 - 42	0,064938487
6 - 41	0,091002137
7 - 40	0,081894974
8 - 39	0,037071157
9 - 38	-0,021998074
10 - 37	-0,060716277
11 - 36	-0,051178658
12 - 35	0,007874526
13 - 34	0,084368728
14 - 33	0,126869306
15 - 32	0,094528345
16 - 31	-0,012839661
17 - 30	-0,143477028
18 - 29	-0,211829088
19 - 28	-0,140513128
20 - 27	0,094601918
21 - 26	0,441387140
22 - 25	0,785875640
23 - 24	1,0

**2.1.4.1 Tasas de modulación del canal fundamental ascendente.**

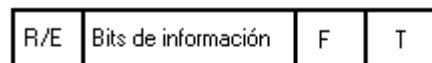
Cuando se opera en las RC 3, la estación móvil debe transmitir información en el canal fundamental ascendente a las siguientes tasas de datos: 9600, 4800, 2700, y 1500 bps durante tramas de 20 ms o a 9600 bps durante tramas de 5 ms.

**2.1.4.2 Estructura de trama del canal fundamental ascendente**

La tabla 2.10 resume las asignaciones de bits para tasas de datos no flexibles. El orden de los bits se muestra en la figura 2.12.

**Tabla 2.10 Estructura de trama del canal RFCH para tasas de datos no flexibles**

RC	Tasa de transmisión (bps)	Número de bits por trama				
		Total	Indicador R/E	Información	Indicador de calidad de trama	Bits de cola del codificador
1	9600	192	0	172	12	8
	4800	96	0	80	8	8
	2400	48	0	40	0	8
	1200	24	0	16	0	8
2	14400	288	1	267	12	8
	7200	144	1	125	10	8
	3600	72	1	55	8	8
	1800	36	1	21	6	8
3 y 5	9600 (20 ms)	192	0	172	12	8



R/E - Bit reservado o indicador de borrado (RC 2,4 y 6 )

F - Indicador de calidad de Trama (CRC)

T - Bits de cola del codificador

*Figura 2.12 Estructura de la trama del RFCH*

#### 2.1.4.3 Indicador de calidad de la trama del canal fundamental ascendente.

Cada trama con RC3 debe incluir un indicador de calidad de trama. Este indicador es un CRC<sup>18</sup>. El indicador de calidad de trama debe calcularse sobre todos los bits de la trama, excepto los bits de cola del codificador y los bits de él mismo. Las tramas de 5 ms deben utilizar un indicador de calidad de trama de 16 bits. Las tramas de 20 ms en RC 3 con más de 96 bits en total deben utilizar un indicador de calidad de trama de 12 bits. Las tramas de 20 ms en RC 3 con 55 a 96 bits en total deben utilizar un indicador de calidad de trama de 8 bits. Las tramas de 20 ms en RC 3 con 54 o menos bits en total deben utilizar un indicador de calidad de trama de 6 bits. Los polinomios generadores para el indicador de calidad de trama deben ser los siguientes:

<sup>18</sup> El indicador de calidad de trama realiza dos funciones en el receptor. La primera función es determinar si la trama tiene errores. La segunda función es ayudar en la determinación de la tasa de datos de la trama recibida. Pueden necesitarse otros parámetros para determinar esta tasa además del indicador de calidad, tales como Tasa de Símbolos Errados (SER, Symbol Error Rate) evaluada en las cuatro tasas de datos soportadas por el canal fundamental ascendente.

$$g(x) = x^{12} + x^{11} + x^{10} + x^9 + x^8 + x^4 + x + 1 \text{ - Indicador de calidad de trama de 12 bits.} \quad (2.9)$$

$$g(x) = x^8 + x^7 + x^4 + x^3 + x + 1 \text{ - Indicador de calidad de trama de 8 bits.} \quad (2.10)$$

$$g(x) = x^6 + x^5 + x^2 + x + 1 \text{ - Indicador de calidad de trama de 6 bits.} \quad (2.11)$$

#### **2.1.4.4 Bits de cola de codificador del canal fundamental ascendente.**

Los últimos ocho bits de cada trama de canal fundamental ascendente se llaman bits de cola de codificador, se utilizan para reiniciar el codificador al final de cada trama. Estos ocho bits deben fijarse a '0'.

#### **2.1.4.5 Codificación convolucional para el canal fundamental ascendente**

El canal fundamental ascendente se debe codificar convolucionalmente como se especifica en 2.1.3.3. Cuando se generan datos del canal fundamental ascendente, el codificador se debe inicializar al final de cada trama de 5 o 20 ms con los bits de cola del codificador.

#### **2.1.4.6 Repetición de símbolos de código del canal fundamental ascendente**

Se debe realizar como lo especifica 2.1.3.4.

#### **2.1.4.7 Puncturing del canal fundamental ascendente**

Como se especifica en 2.1.3.5.

#### **2.1.4.8 Entrelazado del canal fundamental ascendente**

Como se especifica en 2.1.3.6.

#### **2.1.4.9 Modulación del canal fundamental ascendente**

Como se especifica en 2.1.3.7.

#### 2.1.4.10 Ensanchamiento en cuadratura para el canal fundamental ascendente

Como se especifica en 2.1.3.9.

#### 2.1.4.11 Filtraje banda base del canal fundamental ascendente.

Como se especifica en 2.1.3.10.

### 2.2 ENLACE DESCENDENTE (FORWARD LINK)

El enlace descendente de cdma2000 incluye las señales transmitidas desde la estación base hacia las estaciones móviles.

#### 2.2.1 Señales del canal CDMA descendente

Las señales transmitidas en el canal de tráfico descendente (Canal de Control Dedicado Descendente, Canal Fundamental Descendente, Canal Suplementario Descendente, etc enviados a una estación móvil determinada) están especificadas por radio configuraciones. Existen diez radio configuraciones para el canal de tráfico descendente. La tabla 2.11 muestra las características generales de las RC 1 a 3

**Tabla 2.11 Características generales de las radio configuraciones para el enlace descendente**

RC	SR asociada	Tasas de datos, FEC y características generales
1	1	Tasas de datos 1200, 2400, 4800, y 9600 bps con $R = 1/2$ ,
2	1	Tasas de datos 1800, 3600, 7200, y 14400 bps con $R = 1/2$ ,
3	1	Tasas de datos de 1200, 1350, 1500, 2400, 2700, 4800, 9600, 19200, 38400, 76800, y 153600 bps con $R = 1/4$

#### 2.2.2 Estructura del canal cdma2000 1X descendente

La estructura de los canales que transmite la estación base se muestran en la figura 2.13.

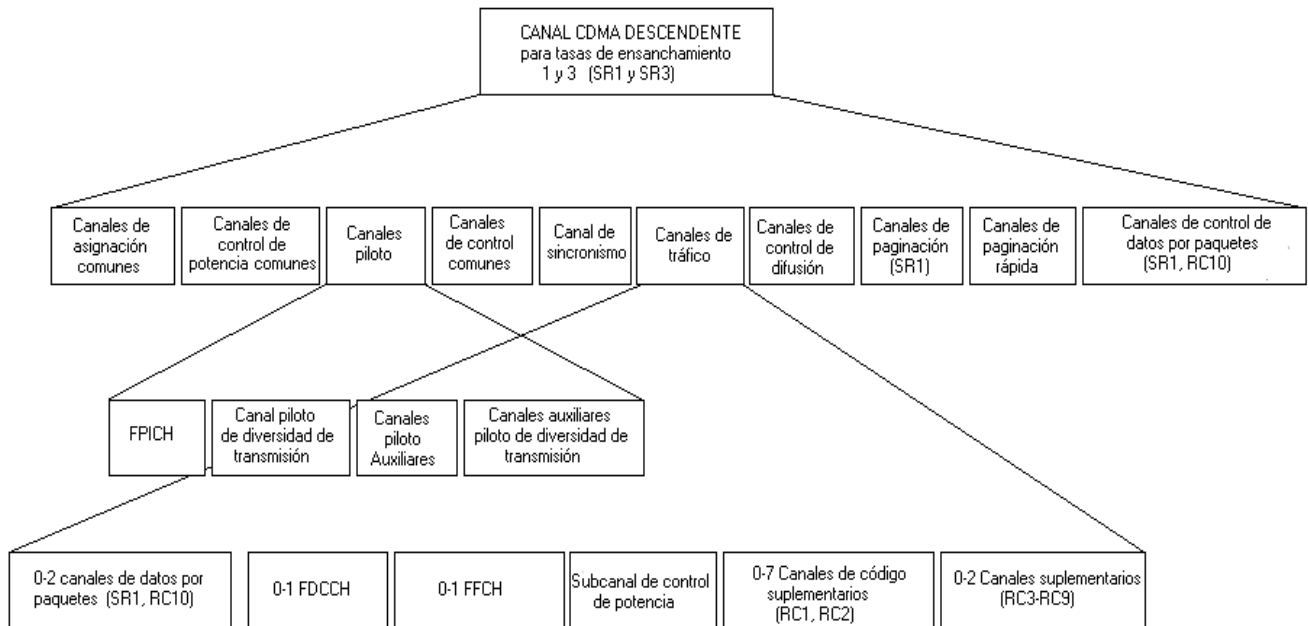


Figura 2.13 Estructura del canal cdma2000 1X descendente

### 2.2.2.1 Canales comunes compatibles hacia atrás

Los canales piloto, de paginación y de sincronismo de IS-95 también se aplican el cdma2000 1X. En la figura 2.14 se muestra la secuencia de transmisión básica, que es la misma de IS-95. Sin embargo, se debe notar que la salida de cada uno de los canales después de convertirla a una señal bipolar negativa se mapea únicamente a  $X_I$  mientras que  $X_Q$  se llena con ceros. Cuando se toman como entradas para el demultiplexor de la figura 2.19,  $X_I$  y  $X_Q$  se mapean directamente hacia  $Y_I$  y  $Y_Q$ . De esta forma, cuando  $Y_I$  y  $Y_Q$  se aplican al ensanchador de la figura 2.15, el ensanchamiento en cuadratura se simplifica. De esta forma, las estaciones móviles tanto de IS-95 como de cdma2000 pueden recibir estos canales. Un mapeo similar se realiza en el enlace ascendente de cdma2000 para que las estaciones base en RC1 y RC2 puedan recibir y soportar señales de las estaciones móviles IS-95.

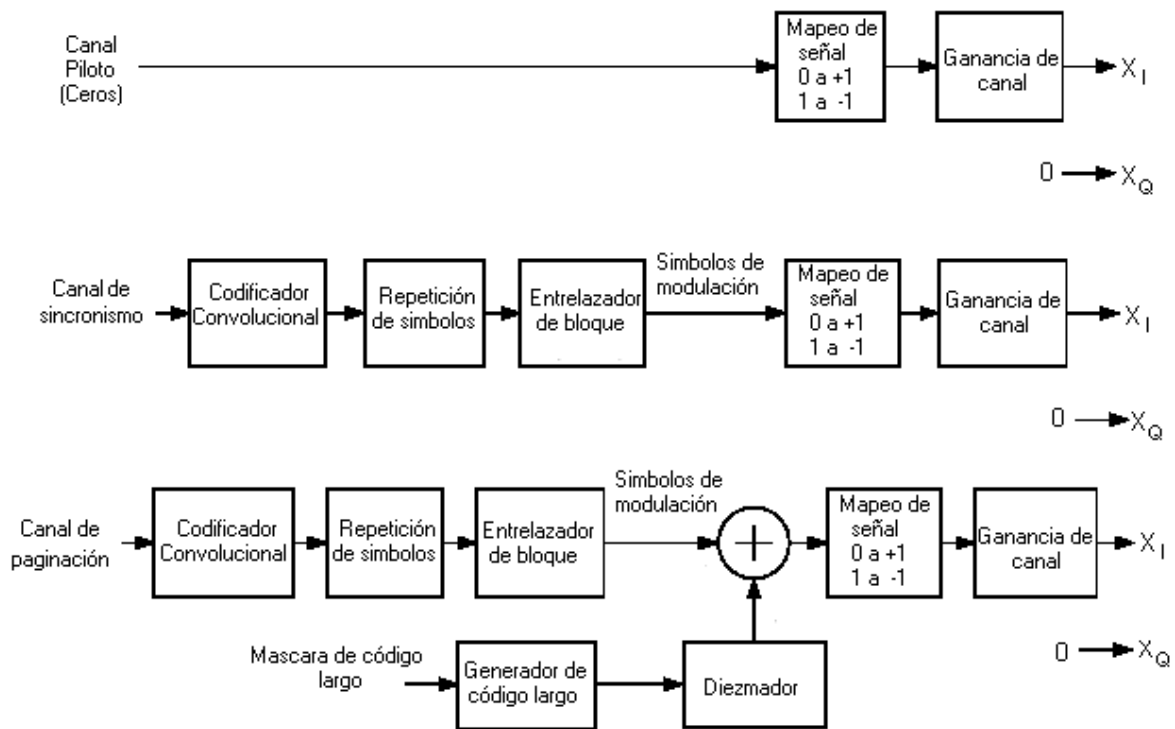


Figura 2.14 Canales comunes cdma2000 compatibles hacia atrás

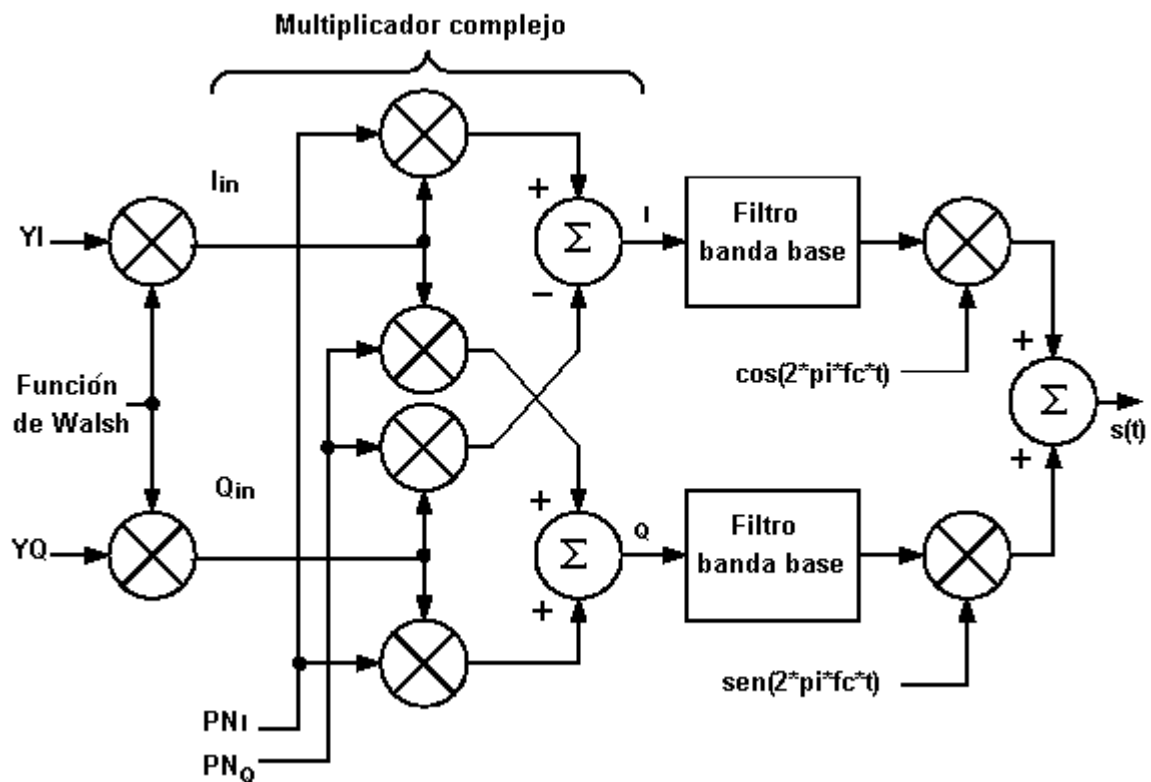


Figura 2.15 Ensanchamiento en cuadratura de cdma2000 modo non-TD



### **2.2.2.2 Nuevos canales comunes cdma2000 1X**

Existen varios canales comunes nuevos para cdma2000. El Canal de Control Común Descendente (FCCCH, Forward Common Control Channel) y el Canal de Control de Difusión Descendente (FBCCH, Forward Broadcast Control Channel) pueden utilizarse para transportar señalización común como en el canal de paginación. Estos canales se pueden utilizar únicamente para móviles cdma2000, para disminuir la carga del canal de paginación. También están presentes los canales: Canal Piloto Auxiliar Común Descendente (FCAPICH, Forward Common auxiliary Pilot Channel) y el Canal de Paginación Rápida Descendente (FQPCH, Forward Quick Paging Channel). Además, para los nuevos modos de acceso en el enlace ascendente, existe el Canal de Control de Potencia Común Descendente (FCPCCH, Forward Common Power Control Channel) en el cual se pueden insertar los bits de control de potencia de usuario.

### **2.2.2.3 Canales dedicados cdma2000 1X**

Cdma2000 1X introduce el Canal de Control Común Dedicado Descendente (FDC, Forward Dedicated Control Channel) y el Canal Suplementario Descendente (FSCH, Forward Supplemental Channel). El FDCCH puede utilizarse principalmente para señalización y también puede utilizarse para otro tipo de tráfico de alta prioridad (no tráfico de voz) como retransmisiones para protocolos de datos. El FSCH es estrictamente para tráfico de datos y puede proporcionar mayores tasas que un canal de código suplementario de IS-95. El Canal Fundamental Descendente (FFCH, Forward Fundamental Channel) se utiliza principalmente para voz. En general, las RC 3 y RC 4 son compatibles con RS 1 de IS-95, mientras que RC 5 es compatible con RS 2. Hay dos cambios importantes en las tramas, los canales dedicados pueden transportar tramas de 5 ms para mensajes cortos, y el FFCH y FSCH pueden tener una longitud de trama mayor (40 y 80 ms), además de las tramas de 20 ms. Las secuencias de transmisión para FDCCH, FFCH y FSCH en RC 3 se muestran en las figuras 2.16 y 2.17.

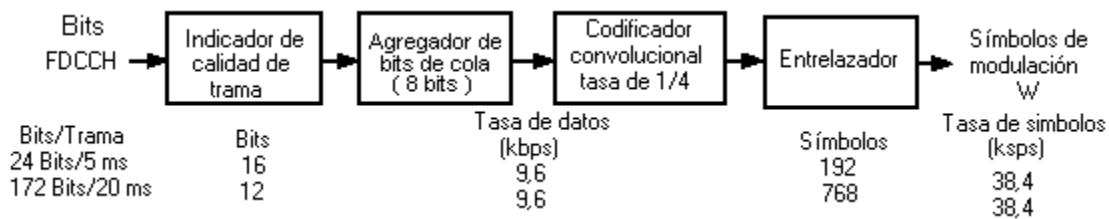
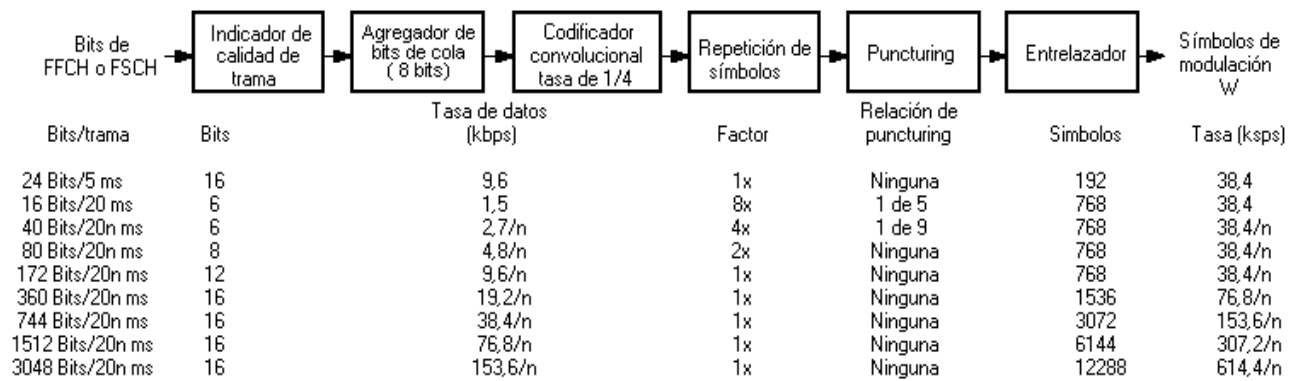


Figura 2.16 FDCCH para RC3



n = longitud de trama en múltiplos de 20 ms; n puede ser igual a 1, 2 o 4

Figura 2.17 FSCH y FFCH para RC3

Las salidas de éstas secuencias de transmisión se someten a los procesos de scrambling e inserción de bits de control de potencia. Con respecto a las figuras 2.16 y 2.17, el resultado de las secuencias de transmisión es un flujo de símbolos de modulación  $W$ . Estos símbolos corresponden a las entradas de la estructura de multiplexación de la figura 2.18

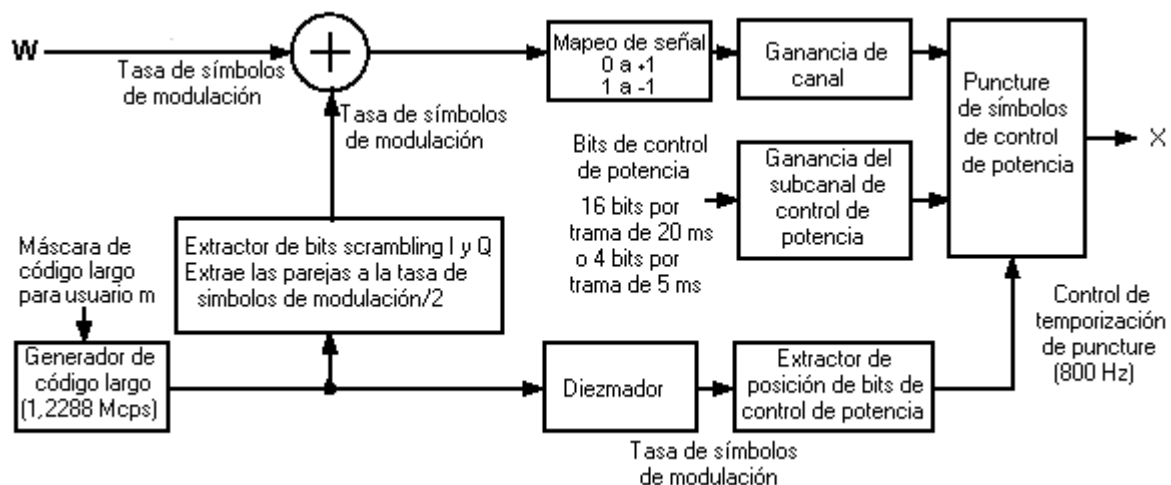
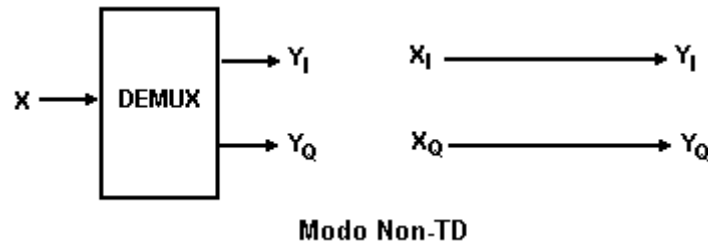


Figura 2.18 Scrambling e inserción de bits de control de potencia

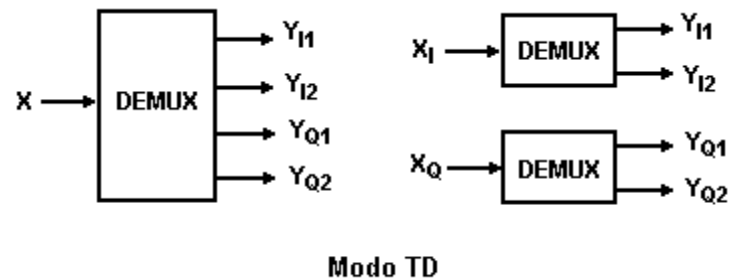
El móvil puede recibir los bits de control de potencia ya sea en el FFCH o FDCCH (Nunca en los dos). Con referencia a la figura 2.18, la salida X puede utilizarse como entrada a la estructura de demultiplexación de la figura 2.19.



*Figura 2.19 Operación de Demultiplexación para cdma2000 1X y mapeo directo.*

### 2.2.3 Diversidad de transmisión

Una nueva característica en cdma2000 que no presenta IS-95 es la capacidad de transmitir sobre dos antenas en el enlace descendente, esto se conoce como diversidad de transmisión (TD, Transmission Diversity). Todos los canales excepto los canales piloto, FPCH, y FSYN pueden transmitirse de esta forma. Los canales que son transmitidos utilizando la técnica de diversidad de transmisión se demultiplexan de forma diferente a la mostrada en la figura 2.19; el procedimiento de demultiplexación para diversidad de transmisión se muestra en la figura 2.20



*Figura 2.20 Demultiplexación para diversidad de transmisión*

Hay dos métodos para la diversidad de transmisión en cdma2000: Ensanchamiento Espacio-Tiempo (STS, Space Time Spreading) y Diversidad de Transmisión Ortogonal (OTD, Orthogonal transmit diversity). Cuando no se utiliza diversidad de transmisión, el modo de operación se denomina non-TD. La estación base debe transmitir los canales dedicados (Es decir el Canal de Control Dedicado Descendente, el Canal Fundamental

Descendente, y el Canal Suplementario Descendente) a una estación móvil utilizando uno de los siguientes esquemas: Non-TD, OTD, o STS.

#### 2.2.4 Parámetros de modulación

Los parámetros de modulación para los canales de tráfico cdma2000 1X descendentes operando en SR1 con RC3 se muestra en la tabla 2.12.

**Tabla 2.12 Parámetros de modulación del Canal Fundamental Descendente y el canal suplementario descendente para tramas de 5 o 20 ms y RC 3**

Parámetro	Tasas de datos en bps				Unidades
	9600xN	4800	2700	1500	
Tasa de chip PN	1.2288	1.2288	1.2288	1.2288	Mcps
Tasa de códigos	¼	¼	¼	¼	Bits / símbolos de código
Repetición de símbolos de código	1	2	4	8	Símbolos de código repetidos / símbolos de código
Tasa de puncturing	1	1	8/9	4/5	Símbolos de modulación / símbolos de código repetidos
Tasa de símbolos de modulación	38400 x N	38400	38400	38400	Símbolos por Segundo (sps)
Longitud de Walsh	64 / N	64	64	64	Chips PN
Ganancia de Procesamiento	128 /N	256	455.1	819.2	Chips PN / bit

##### 2.2.4.1 Tasas de datos

Las tasas de datos para canales operando con SR1 deben ser como se especifica en la tabla 2.13.

##### 2.2.4.2 Corrección de errores directa (FEC)

Los tipos de FEC para los canales con SR1 deben ser como se especifica en la tabla 2.14.

**Tabla 2.13 Tasas de datos para SR1**

Tipo de canal		Tasas de datos (bps)
Canal de sincronización		1200
Canal de paginación		9600 o 4800
Canal de control de difusión		19200 (ranuras de 40 ms ), 9600 (ranuras de 80 ms), o 4800 (ranuras de 160 ms)
Canal de paginación rápida		4800 o 2400
Canal común de control de Potencia		19200 (9600 bps por brazo I y Q)
Canal de asignación común		9600
Canal de control común Descendente		38400 (tramas de 5, 10 o 20 ms, 19200 (tramas de 10 o 20 ms), o 9600 (tramas 20 ms)
Canal de control de paquetes de datos Descendente		29600 (tramas de 1.25 ms) 14800 (tramas de 2.5 ms) 7400 (tramas de 5 ms)
Canal de control Dedicado descendente	RC3 o 4	9600
	RC 5	14400 (tramas de 20 ms) o 9600 (tramas de 5 ms)
Canal Fundamental Descendente	RC1	9600, 4800, 2400, o 1200
	RC2	14400, 7200, 3600, o 1800
	RC 3 o 4	9600, 4800, 2700, o 1500 (tramas de 20 ms) o 9600 (tramas de 5 ms)
Canal de código suplementario Descendente	RC 1	9600
	RC 2	14400

**Tabla 2.14 FEC para tasa de ensanchamiento 1.**

Tipo de canal	FEC	R
Canal Sync	Convolutional	$\frac{1}{2}$
Canal de paginación	Convolutional	$\frac{1}{2}$
Canal de control de difusión	Convolutional	$\frac{1}{4}$ o $\frac{1}{2}$
Canal común de control de potencia	Ninguno	-
Canal de paginación rápida	Ninguno	-
Canal común de asignación	Convolutional	$\frac{1}{4}$ o $\frac{1}{2}$
Canal de control común descendente	Convolutional	$\frac{1}{4}$ o $\frac{1}{2}$
Canal de control de paquetes de datos	Convolutional	$\frac{1}{2}$ (tramas de 1.25 ms) $\frac{1}{4}$ (tramas de 2.5 ms) $\frac{1}{4}$ (tramas de 5 ms)
Canal de control dedicado descendente	Convolutional	$\frac{1}{4}$ (RC 3 o 5) $\frac{1}{2}$ (RC 4)
Canal fundamental descendente	Convolutional	$\frac{1}{2}$ (RC 1, 2, o 4) $\frac{1}{4}$ (RC 3 o 5)
Canal de código Suplementario descendente	Convolutional	$\frac{1}{2}$ (RC 1 o 2)
Canal suplementario descendente	Convolutional	$\frac{1}{2}$ (RC 4) $\frac{1}{4}$ (RC 3 o 5)
	Turbo (N $\geq$ 360 )	$\frac{1}{4}$ (RC 3) $\frac{1}{2}$ , $\frac{1}{3}$ , $\frac{1}{4}$ o $\frac{1}{5}$ (RC 4) $\frac{1}{3}$ , $\frac{1}{4}$ , o $\frac{1}{5}$ (RC 5)
Canal de paquetes de datos descendente	Turbo	$\frac{1}{5}$ (RC 10)

### 2.2.4.3 Codificación convolucional

La codificación convolucional realizada en el enlace descendente es idéntica a la realizada en el enlace ascendente. (Ver 2.1.3.3)

### 2.2.4.4 Repetición de símbolos de códigos

La repetición de símbolos realizada en el enlace descendente es idéntica a la realizada en el enlace ascendente (ver 2.1.3.4). La tabla 2.15 muestra los parámetros de la repetición de símbolos para el enlace descendente.

**Tabla 2.15 Repetición de símbolos de código**

Tipo de canal		Número de símbolos de código Repetidos / Símbolos de código
Canal de sincronización		2 (SR 1) 2 (SR 3)
Canal de paginación		2 (4800 bps) 1 (9600 bps)
Canal de control de difusión		1
Canal de paginación rápida		2 (SR 1 a 4800 bps) 4 (SR 1 a 2400 bps) 3 (SR 3 a 4800 bps) 6 (SR 3 a 2400 bps)
Canal común de control de Potencia		1 (SR 1, non-TD) 2 (SR 1, TD) 3 (SR 3)
Canal de asignación común		1
Canal de control común Descendente		1 (SR 1, non-TD) 2 (SR 1, TD) 3 (SR 3)
Canal de control Dedicado descendente		1 (RC 3, 4, 5, 6, 7, y 9; y RC 8, 20 ms)
Canal fundamental descendente		8 (1200, 1500, o 1800 bps) 4 (2400, 2700, o 3600 bps) 2 (4800 o 7200 bps) 1 (9600 or 14400 bps, 20 ms; y RC 3, 4, 5, 6, 7, y 9, 5 ms)
Canal de código suplementario descendente		1 (RC 1 o 2)
Canal suplementario descendente	Tramas de 20ms	8 (1500 o 1800 bps) 4 (2700 o 3600 bps) 2 (4800 o 7200 bps) 1 (> 7200 bps)
	Tramas de 40ms	4 (1350 o 1800 bps) 2 (2400 o 3600 bps) 1 (> 3600 bps)
	Tramas de 80ms	2 (1200 o 1800 bps) 1 (> 1800 bps)

### 2.2.4.5 Puncturing

El proceso de puncturing realizado en el enlace descendente es idéntico al realizado en el enlace ascendente (ver 2.1.3.5)

### 2.2.4.6 Entrelazado de bloque

Para los canales de tráfico, con RC 1 a 9 todos los símbolos después de la repetición y el subsecuente puncturing, deben pasar por un proceso de entrelazado de bloque. Los parámetros del entrelazador  $m$  y  $j$  para estos canales se especifican en la tabla 2.16.

**Tabla 2.16 Parámetros del entrelazador**

Tamaño del bloque	$m$	$J$
48	4	3
96	5	3
192	6	3
384	6	6
768	6	12
1536	6	24
3072	6	48
6144	7	48
12288	7	96
144	4	9
288	5	9
576	5	18
1152	6	18
2304	6	36
4608	7	36
9216	7	72
18432	8	72
36864	8	144
128	7	1

Cuando se opera en canal de tráfico descendente con RCs 3 a 5, los símbolos de entrada al entrelazador se escriben secuencialmente en las direcciones 0 a tamaño de bloque( $N$ ) menos uno. Los símbolos entrelazados pares ( $i$  es par) se leen en orden permutado desde la dirección  $A_i$ , de la siguiente forma:

$$A_i = 2^m \left[ \frac{i}{2} \bmod(J) \right] + BRO_m \left( \left[ \frac{i}{2J} \right] \right) \quad (2.12)$$

Donde  $i = 0, 2, \dots, N - 2$ ,  $m$  y  $J$  se dan en la tabla 2.16. Utilizando un entrelazador de bloque de tamaño  $N$  y  $\lfloor x \rfloor$  es la parte entera de  $x$ , y  $BRO_m(y)$  indica el valor invertido del

m-ésimo bit de “y” (BRO, Bit Reversed Order) y “mod” es la división módulo. Los símbolos entrelazados impares (i es impar) se leen en orden permutado desde la dirección  $A_i$ , así:

$$A_i = 2^m \left[ \left( N - \frac{(i+1)}{2} \right) \bmod(J) \right] + BRO_m \left( \left[ \left( N - \frac{(i+1)}{2} \right) / J \right] \right) \quad (2.13)$$

Donde  $i = 1, 3, \dots, N - 1$ ,  $m$  y  $J$  se dan en la tabla 2.16 utilizando un entrelazador bloque tamaño  $N$ .

#### 2.2.4.7 Scrambling

Este procedimiento se aplica a los símbolos de modulación de salida del entrelazador de bloque a la tasa de símbolos de modulación, y debe realizarse mediante la operación en grupos de  $2M$  símbolos de modulación, donde  $M$  es 1 para SR1 en modo non-TD, 2 para SR1 modo TD. Para los primeros símbolos de modulación de cada grupo, se debe realizar una suma módulo 2 de estos símbolos con los valores binarios de los chips PN del código largo y el proceso se repite para los siguientes símbolos. (Ver figura 2.18).

#### 2.2.4.8 Subcanal de control de potencia descendente

Este subcanal se transmite únicamente en el Canal Fundamental Descendente o en el Canal de Control Dedicado Descendente. Cuando la estación móvil no está operando en modo gated<sup>19</sup>, el subcanal se debe transmitir a una tasa de un bit cada 1,25 ms (800 bps). Los grupos de control de potencia dentro de una trama de 20ms están numerados de 0 a 15. Un bit ‘0’ debe indicar a la estación móvil que debe incrementar el nivel de potencia media de salida, y un ‘1’ debe indicar a la estación móvil que debe disminuir la salida de potencia media. El receptor de la estación base debe estimar el nivel de la señal recibida de una estación móvil particular. El receptor de la estación base debe utilizar esta estimación para determinar el bit de control de potencia (‘0’ o ‘1’). La estación base debe transmitir el bit de control de potencia en el canal fundamental descendente o en el canal de control dedicado descendente utilizando la técnica de puncturing que se describe a continuación: En el caso de una transmisión en el modo non-gated, la transmisión del bit

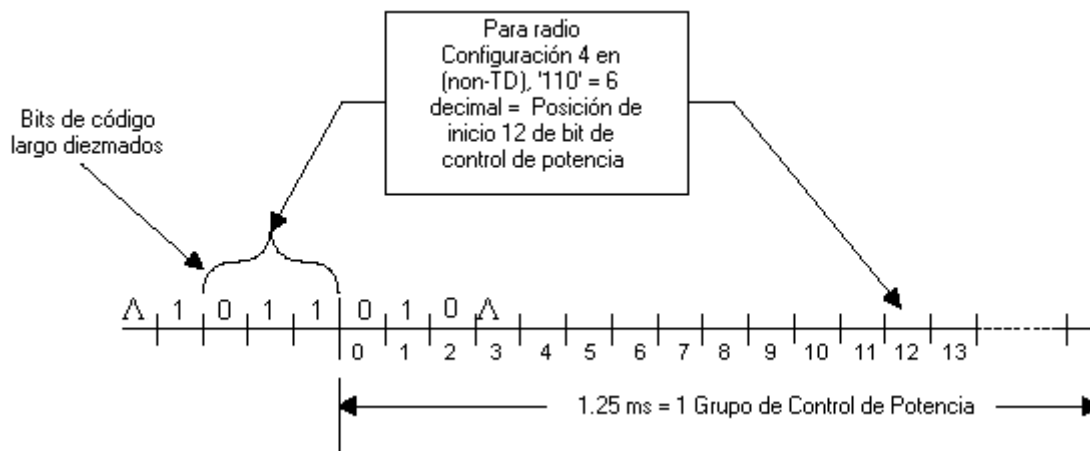
<sup>19</sup> Es un modo de operación en el que el transmisor de la estación móvil está activo e inactivo alternadamente durante grupos de control de potencia específicos.



de control de potencia debe ocurrir en el canal fundamental descendente o en el canal de control dedicado descendente en todos los grupos de control de potencia. Cada bit de control de potencia debe reemplazar el número de símbolos de modulación especificado en la tabla 2.17. Cada bit de control de potencia debe insertarse en el Canal de Control Dedicado Descendente o en el Canal Fundamental Descendente, después del scrambling. Un número binario n-bit ( $n=3$  o  $4$ ) con valores de  $0$  a  $2^n - 1$  formados por los bits diezmados como se especifica en la tabla 2.17 debe utilizarse para determinar la posición inicial de los bits de control de potencia. Por ejemplo, si el valor de los bits diezmados para la RC4 (non-TD) son '110' (6 en decimal), el bit de control de potencia comienza en la posición 12 como se muestra en la figura 2.21

**Tabla 2.17 Duración del bit de control de potencia.**

Radio configuración	Símbolos de modulación reemplazados	Posiciones iniciales de los símbolos	Bits diezmados (MSB → LSB)
1	2	0, 1, ..., 15	23, 22, 21, 20
2	1	0, 1, ..., 15	23, 22, 21, 20
3 (non-TD)	4	0, 2, ..., 30	47, 46, 45, 44



*Figura 2.21 Posiciones iniciales de los bits de control de potencia*

#### 2.2.4.9 Demultiplexación de símbolos

La demultiplexación de símbolos se muestra en las figura 2.19 y 2.20.

#### 2.2.4.10 Ensanchamiento ortogonal y cuasi-ortogonal.

Las funciones de Walsh se utilizan con RC 1,2 y 10. Las funciones de Walsh cuasi-ortogonales se utilizan con Radio configuraciones 3 a 9. Cada canal de código transmitido en el canal CDMA descendente se debe ensanchar con una función de Walsh ortogonal o cuasi-ortogonal a una tasa fija de chip de 1,2288 Mcps para proporcionar canalización entre todos los canales de código en el enlace descendente. La longitud máxima de las funciones de Walsh asignadas ( $N_{max}$ ) para los canales de código, excepto para los canales piloto transmitidos en el enlace descendente se dan en la tabla 2.18. Debe utilizarse una de las funciones ortogonales de Walsh N-arias ( $N \leq N_{max}$ ), generadas como se describe en 2.1.3.7.2. Un canal de código  $W_n^N$  es un canal ensanchado utilizando una función de Walsh  $n$  del conjunto ortogonal N-ario ( $0 \leq n \leq N-1$ ). La función de ensanchamiento de Walsh debe repetirse con un periodo de  $(N/1,22888) \mu s$

**Tabla 2.18 Longitud máxima de la función de Walsh para los canales de código de los canales descendentes excepto el canal piloto auxiliar y el canal piloto de diversidad de transmisión**

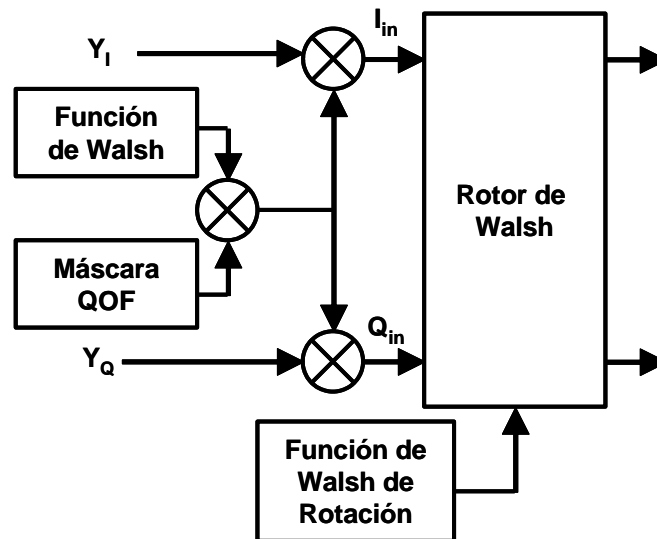
Tasas de ensanchamiento	Longitud de Walsh máxima
1	128
3	256

Las funciones cuasi-ortogonales (QOFs) deben crearse utilizando una máscara QOF y una función de Walsh de rotación como se especifica en la tabla 2.19. La secuencia de Walsh determinada debe multiplicarse por la máscara QOF (Con valores bipolares negativos), este resultado se multiplica por los flujos de datos I y Q, y posteriormente por la función de Walsh de rotación (Cuyos símbolos son 1 y  $j$  para 1 y  $-1$  respectivamente, en valores bipolares negativos de la función de Walsh) como se muestra en la figura 2.22. Cuando hay rotación, es decir multiplicación por  $j$ , se realiza un desplazamiento de fase de  $90^\circ$ . Se deben utilizar las máscaras QOF multiplicadoras de signo (signo QOF) y las funciones de Walsh de rotación (Walsh rot) dadas en la tabla 2.19. Cada canal fundamental descendente y cada canal de control dedicado descendente con radio RC 3

o 5 debe asignarse a un canal  $W_n^{64}$ , donde  $1 \leq n \leq 6$ . El valor de  $n$  es especificado por la estación base.

**Tabla 2.19 Función de Walsh de rotación y máscaras QOF**

Función	Función de enmascaramiento	
	Representación hexadecimal de QOF	Walsh ROT
0	00000000000000000000000000000000 00000000000000000000000000000000	$W_0^{256}$
1	7228d7724eebebb1eb4eb1ebd78d8d28 278282d81b41be1b411b1bbe7dd8277d	$W_{130}^{256}$
2	114b1e4444e14beeee4be144bbe1b4ee dd872d77882d78dd2287d277772d87dd	$W_{173}^{256}$
3	1724bd71b28118d48ebddb172b187eb2 e7d4b27ebd8ee82481b22be7dbe871bd	$W_{47}^{256}$



*Figura 2.22 Ensanchamiento cuasi-ortogonal*

#### 2.2.4.11 Ensanchamiento en cuadratura

El ensanchamiento en cuadratura realizado en el enlace descendente es idéntico al realizado en el enlace ascendente (ver 2.1.3.9)

### 2.2.4.12 Filtrado de banda base

El filtrado de banda base realizado en el enlace descendente es idéntico al realizado en el enlace ascendente (ver 2.1.3.10)

## 2.2.5 Canal fundamental descendente en RC3

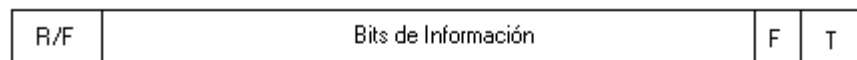
Este canal se utiliza para la transmisión de información de usuario y señalización a una estación móvil específica durante una llamada. Cada canal de tráfico descendente puede contener 1 canal fundamental descendente

### 2.2.5.1 Tasas de modulación del canal fundamental descendente.

Cuando se opera en RC 3 la estación base debe transmitir información en el canal fundamental descendente a tasas variables de 9600, 4800, 2700 y 1500 bps en tramas de 20ms o a 9600 bps en tramas de 5ms.

### 2.2.5.2 Estructura de trama del canal fundamental descendente

La tabla 2.20 resume las posiciones de los bits del canal fundamental descendente. El orden de los bits se muestra en la figura 2.23. Las tramas con RC3 deben consistir de los bits de información seguidos de un CRC indicador de calidad de trama y los 8 bits de cola de codificador. Estos bits se generan de igual forma que en el canal fundamental ascendente.



#### Notación

R/F - Bit de bandera / Reservado

F - Indicador de calidad de trama (CRC)

T - Bits de cola de codificador

*Figura 2.23 Estructura de trama del canal fundamental descendente*

**Tabla 2.20 Resumen de la estructura de trama del canal fundamental descendente para Tasas de datos no flexibles**

Radio Configuración	Tasa de Datos (bps)	Número de bits por trama				
		Total	R/F	Información	Indicador De calidad De trama	Bits de cola
1	9600	192	0	172	12	8
	4800	96	0	80	8	8
	2400	48	0	40	0	8
	1200	24	0	16	0	8
2	14400	288	1	267	12	8
	7200	144	1	125	10	8
	3600	72	1	55	8	8
	1800	36	1	21	6	8
3,4,6 y 7	9600 (5 ms)	48	0	24	16	8
	9600 (20 ms)	192	0	172	12	8
	4800	96	0	80	8	8
	2700	54	0	40	6	8
	1500	30	0	16	6	8

### 2.2.5.3 Codificación convolucional del canal fundamental descendente

La codificación convolucional realizada en el canal fundamental descendente se especifica en (ver 2.2.4.3)

### 2.2.5.4 Repetición de símbolos de código del canal fundamental descendente

La repetición de símbolos realizada en el canal fundamental descendente se especifica en (ver 2.2.4.4)

### 2.2.5.5 Puncturing del canal fundamental descendente

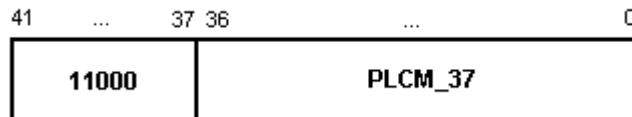
El proceso de puncturing realizado en el canal fundamental descendente se especifica en (ver 2.2.4.5)

### 2.2.5.6 Entrelazado del canal fundamental descendente

El entrelazado realizado en el canal fundamental descendente se especifica en (ver 2.2.4.6)

### 2.2.5.7 Scrambling de datos del canal fundamental descendente

El scrambling realizado en el canal fundamental descendente se especifica en (ver 2.2.4.7) La máscara publica de código largo debe ser como se muestra en la figura 2.24. La generación de la máscara privada de código largo debe ser como se especifica en 2.1.3.8



*Figura 2.24 Máscara de código largo Pública para el canal fundamental descendente*

### 2.2.5.8 Ensanchamiento ortogonal y cuasi-ortogonal del canal fundamental descendente

El ensanchamiento ortogonal realizado en el canal fundamental descendente se especifica en (ver 2.2.4.10)

### 2.2.5.9 Ensanchamiento en cuadratura del canal fundamental descendente

El ensanchamiento en cuadratura realizado en el canal fundamental descendente se especifica en (ver 2.2.4.11)

### 2.2.5.10 Filtrado del canal fundamental descendente

El filtrado de banda base realizado en el canal fundamental descendente se especifica en (ver 2.2.4.12).

### 3. ESTADO DEL ARTE DE LA SIMULACIÓN DE SISTEMAS CDMA

#### INTRODUCCIÓN

Robert E. Shannon, en su libro: "Simulación de Sistemas, Diseño, desarrollo e implementación"<sup>20</sup> define la simulación como el proceso de diseñar un modelo de un sistema real y llevar a cabo experiencias con el mismo con la finalidad de comprender el comportamiento del sistema o de evaluar nuevas estrategias - dentro de los límites impuestos por un criterio o conjunto de ellos - para el funcionamiento del sistema. Dicho modelo es una representación de la naturaleza, que enfatiza en propiedades que son consideradas importantes e ignora los aspectos que son considerados irrelevantes. Esta abstracción del mundo real permite el estudio del funcionamiento interno de sistemas complejos y la realización de pruebas sin interrumpir el funcionamiento del sistema real, con la ventaja de poder manipular el tiempo convenientemente para el análisis. Estas características hacen deseable su aplicación en el diseño, análisis y comprensión de sistemas de telecomunicaciones, donde la complejidad y el costo imposibilitan su construcción. La importancia de la simulación aplicada a los sistemas de telecomunicaciones se refleja en el gran interés que ha despertado para los centros de investigación y Universidades a nivel mundial, y la gran cantidad de trabajos y proyectos que estos han generado. Para este proyecto son de particular importancia los sistemas de comunicaciones móviles inalámbricas basados en CDMA, por lo tanto este capítulo presenta una visión general del estado del arte de la simulación de este tipo de sistemas, que es el resultado de la búsqueda e intercambio de información a través de Internet. En las próximas secciones se mencionan algunos de los trabajos relacionados con la simulación de sistemas de comunicación inalámbricos CDMA a nivel internacional y nacional, que han sido publicados en las páginas WEB de Universidades y Grupos de

---

<sup>20</sup> SHANNON, Robert E. Simulación de Sistemas, Diseño, desarrollo e implementación. México: Trillias, 1988

Investigación, además se hace referencia a algunos cursos de simulación de sistemas de telecomunicaciones en diferentes universidades en los que se proponen practicas de simulación de sistemas CDMA.

### 3.1 PROYECTOS REALIZADOS A NIVEL INTERNACIONAL

A nivel internacional, el Grupo de Tecnologías de Comunicación Inalámbrica (WCTG, Wireless Communication Technologies Group) del Instituto Nacional de Estándares y Tecnología (NIST, National Institute of Standards and Technology) en colaboración de Cadence Design Systems, ha realizado dos proyectos denominados : “Modelo de simulación del enlace descendente de cdma2000”<sup>21</sup>, y “Modelo de simulación del enlace ascendente de cdma2000”<sup>22</sup>, en los que se realizaron modelos de simulación para los canales de tráfico del enlace ascendente de cdma2000, basados en la herramienta de simulación y diseño de sistemas de comunicaciones SPW (SPW, Signal Processing Worksystem) de Cadence. El Grupo de Radiocomunicación del Departamento de Señales y Sistemas de la Universidad Politécnica de Madrid, utiliza herramientas propias desarrolladas en Matlab para la simulación de sistemas CDMA. Los trabajos más relevantes vinculados a este grupo son la tesis doctoral denominada: “Capacidad de Sistemas Celulares W-CDMA”<sup>23</sup>, en la cual se realiza un análisis de la capacidad del sistema utilizando algunos programas en Matlab, el trabajo de fin de maestría “Simulación del Enlace Ascendente CDMA IS-95A”<sup>24</sup>, en el que se desarrollo un simulador del enlace ascendente de IS-95 en Simulink, el proyecto de fin de carrera "Estructuras Celulares Jerárquicas en Sistemas WCDMA"<sup>25</sup>, que analiza la capacidad del enlace descendente utilizando Matlab, y el proyecto de fin de Carrera "Simulación de Enlace para Sistemas Celulares CDMA"<sup>26</sup> realizado en Matlab.

---

<sup>21</sup> WYATT-MILLINGTON, R. MILLER M. y GHARAVI, H. cdma2000 forward-link simulation model design and evaluation. Proyecto de investigación, WCTG del NIST. Estados Unidos de América.

<sup>22</sup> WYATT-MILLINGTON, R. CHIN, F. y GHARAVI, H. cdma2000 reverse-link simulation model design and evaluation. Proyecto de investigación, WCTG del NIST. Estados Unidos de América.

<sup>23</sup> MENDO, Luis. Capacidad de Sistemas Celulares W-CDMA. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Madrid. España

<sup>24</sup> RUIZ PRADA, Camilo José. Simulación del Enlace Ascendente CDMA IS-95. Trabajo de fin de Master. Universidad Politécnica de Madrid. España

<sup>25</sup> RIMÁN MARTÍNEZ, Esther. Estructuras Celulares Jerárquicas en Sistemas WCDMA. Trabajo de fin de carrera. Universidad Politécnica de Madrid. España

<sup>26</sup> TARRÍO ALONSO, Paula. Simulación de Enlace para Sistemas Celulares CDMA. Trabajo de fin de carrera. Universidad Politécnica de Madrid. España



En la Universidad Estatal e Instituto Politécnico de Virginia, Virginia Tech, el Grupo de Investigación en Radiocomunicaciones Móviles y Portátiles (MPRG, Mobile and Portable Radio Research Group) desarrollo un Simulador de Tecnologías Avanzadas CDMA (CATS, CDMA Advanced Technologies Simulator) basado en Matlab. Esta herramienta es utilizada para el desarrollo de algoritmos y simulación de sistemas CDMA. El Laboratorio de Comunicaciones de Virginia Tech en colaboración con el Laboratorio de Investigación en Comunicaciones Inalámbricas de Próxima Generación de LG Electronics, Inc. realizó el proyecto titulado “Comportamiento de la ganancia de antenas duales inteligentes en dispositivos móviles de sistemas CDMA de tercera generación.”<sup>27</sup> en el que se hace un estudio del comportamiento de la ganancia de antenas duales inteligentes en dispositivos móviles para el enlace descendente de cdma2000, por medio de la simulación del sistema en SPW de Cadence. Además de estos trabajos, se han realizado las siguientes tesis de maestría relacionadas con CDMA: “Simulation of Third Generation CDMA Systems”<sup>28</sup>, Herramienta de simulación para investigar el diseño y la implementación de sistemas CDMA de tercera generación, “Receiver implementations for a CDMA cellular system”<sup>29</sup>, software de simulación en C para el estudio de la recepción multiusuario de IS-95, “Simulation of IS-95 CDMA Systems at Multiple Vehicle Speeds”<sup>30</sup>, Simulación para el estudio del comportamiento de los sistemas CDMA IS-95 en vehículos a múltiples velocidades. El Laboratorio de Telecomunicaciones del Departamento de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de Oulu, Finlandia, desarrolló el proyecto Titulado “CODSIM - A Simulation Environment for Spreading Codes”<sup>31</sup> en el que se implemento un ambiente de simulación basado en Matlab como herramienta para el diseño de códigos de ensanchamiento. El Departamento de Ingeniería Eléctrica y de Computación de la Universidad Rice, de Estados Unidos, desarrollo un Software de simulación para equipo de pruebas de sistemas inalámbricos CDMA de tercera generación. Esta herramienta de simulación permite evaluar las opciones de diseño y las características de un enlace inalámbrico CDMA de tercera generación en diferentes escenarios. Su base es un modelo

---

<sup>27</sup> WON, Suk. HA, DongSam. y KIM, JeongHo. Performance gain of smart dual antennas at handsets in 3G CDMA system. Proyecto de investigación. Departamento de Ingeniería Eléctrica y de Computación. Virginia Tech. LG electronics, Inc. Estados Unidos de América.

<sup>28</sup> ALAM, Fakhrol. Simulation of Third Generation CDMA Systems. Tesis de maestría en ciencias en Ingeniería Eléctrica. Virginia Tech. Estados Unidos de América.

<sup>29</sup> ALIFTIRAS, George. Receiver implementations for a CDMA cellular system. Tesis de maestría en ciencias en Ingeniería Eléctrica. Virginia Tech. Estados Unidos de América.

<sup>30</sup> TSAI, Jiann. Simulation of IS-95 CDMA Systems at Multiple Vehicle Speeds. Tesis de maestría en ciencias en Ingeniería Eléctrica. Virginia Tech. Estados Unidos de América.

<sup>31</sup> KÄRKKÄINEN, K. CODSIM - A Simulation Environment for Spreading Codes. Departamento de Ingeniería Eléctrica. Universidad de Oulu. Finlandia

del enlace CDMA multiusuario realizado en Simulink incorporado a una tarjeta de Procesamiento Digital de Señales (DSP, Digital Signal Processing) por medio de las características del componente Real-time Workshop de Simulink. La Universidad de Texas en Arlington en colaboración con Nortel Networks desarrollo una Simulación de sistemas CDMA utilizando un simulador de sistemas dinámicos. En la Escuela de Ingeniería y ciencias de la computación Eric Jonson de la Universidad de Texas en Dallas se realizo el proyecto titulado “Wireless network simulation of CDMA Propagation and Reception”<sup>32</sup>, donde se simula la modulación, demodulación y ensanchamiento en el enlace ascendente de sistemas de comunicación inalámbricos CDMA. En la Universidad de Delaware, en el curso de comunicaciones digitales inalámbricas del Departamento de Ingeniería Eléctrica y de Computación realizó el proyecto titulado “Simulation of CDMA and RAKE receiver”<sup>33</sup> en el que se simula un sistema CDMA con receptor Rake en Matlab. En la Universidad de Beijing de Correos y Telecomunicaciones, la Escuela de Ingeniería de la Información realizó un estudio de la perdida de capacidad debido a la coexistencia de sistemas cdma2000 y WCDMA. Donde investigan la degradación de la capacidad debida a la coexistencia de sistemas cdma2000 y WCDMA por medio de simulaciones de Monte Carlo. En la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Tarapacá de Chile, se realizo el proyecto titulado “Desarrollo y simulación de una estación base GSM/CDMA utilizando software radio (SDR, Software-Defined Radio)”<sup>34</sup> En este trabajo se plantea el desarrollo y simulación de una estación base, de telefonía móvil, que puede ser utilizada por dos, o más, empresas que empleen tecnologías diferentes pero que trabajen en el mismo espectro de frecuencias autorizadas. Los diseños y desarrollos elaborados se basan en la nueva disciplina de Radio Definido por Software (SR, Software-Defined Radio). Además de los trabajos realizados, algunas Universidades tienen cursos de simulación de sistemas de comunicaciones en los que se desarrollan simulaciones relacionadas con sistemas CDMA como complemento practico de enseñanza, tales como: El curso denominado “Comunicaciones inalámbricas multiusuario” del Departamento de Ingeniería Eléctrica y de computación de la Universidad de Texas en el que se desarrolló el proyecto de clase: “Simulación del enlace descendente de un sistema cdma2000

---

<sup>32</sup> AYYEPPEN, Srirama K. y ZHU, Hua. Wireless network simulation of CDMA Propagation and Reception. Escuela de Ingeniería y ciencias de la computación Eric Jonson. Universidad de Texas en Dallas. Estados Unidos de América.

<sup>33</sup> AN, Wei. Simulation of CDMA and RAKE receiver. Comunicaciones digitales inalámbricas. Departamento de Ingeniería Eléctrica y de Computación. Universidad de Delaware. Estados Unidos de América.

<sup>34</sup> BUSQUÉS, Julián. REYES, Héctor. Y HERNÁNDEZ, Juan. Desarrollo y simulación de una estación base GSM/CDMA utilizando software radio. Artículo, revista Facultad de Ingeniería Vol 10. Facultad de Ingeniería Universidad de Tarapacá. Chile.

multiusuario”, en el que se utilizó la herramienta simulink de Matlab para simular el enlace descendente de cdma2000 a nivel físico en un entorno multiusuario, omitiendo las funciones de ensanchamiento y desensanchamiento complejo, modulación y demodulación analógicas y el filtraje de banda base. El curso práctico denominado “Proyecto de laboratorio” del Departamento de Ingeniería Eléctrica y de computación de la Universidad de British Columbia, donde se desarrolla la simulación del estándar CDMA IS-95, con el objetivo de familiarizar a los estudiantes con los principales aspectos del nivel físico de este estándar.

El curso: “Sistemas avanzados de comunicación I” del Departamento de Ingeniería Eléctrica y de Computación de la Universidad Estatal de Iowa, en el que se plantea el Proyecto: " Simulación de sistemas CDMA en comunicaciones móviles inalámbricas". Finalmente, en el Departamento de Teoría de la Señal y Comunicaciones de la Universidad de Vigo, se encuentra el curso: “Simulación de Canales”, cuyo objetivo final consiste en la descripción de modelos y técnicas de simulación que permitan analizar de forma precisa un sistema de comunicaciones, y en el que se plantea como ejemplo práctico una Simulación de un sistema CDMA celular. En cuanto a herramientas de simulación comerciales, MathWorks ofrece un ejemplo de simulación del canal fundamental descendente de cdma2000 en RC3 para Matlab, Roke Manor Research tiene una herramienta de simulación de sistemas de tercera generación denominada: “3G System Simulation Tool”, que es una herramienta flexible para modelar, simular y evaluar los atributos del sistema radio de varios sistemas celulares de tercera generación entre los que se incluye cdma2000. Entegra DSP ofrece una Librería de comunicaciones cdma2000 para el entorno de simulación de interfaz orientada a bloques SystemView de Elanix, con toda la funcionalidad requerida para el diseño, construcción y prueba de transmisores y receptores a nivel físico del estándar. También está presente el Software SPW utilizado en proyectos ya mencionados, perteneciente a las empresas Cadence y CoWare, que contiene la librería de comunicaciones básicas “SPWCOM” , la librería avanzada de CDMA de banda ancha “SPWCDMA”, la librería avanzada para Redes de Área Local Inalámbricas “SPWWLAN”, la librería avanzada para el Sistema Global de Comunicaciones móviles (GSM, Global System Mobile) y EDGE<sup>35</sup> “SPWGSM”, la librería avanzada para sistemas CDMA y de Servicios Personales de Comunicaciones (PCS, Personal Communication System) “SPW95” que incluye los modelos para simular todos

---

<sup>35</sup> Tasas de Datos Mejoradas para la Evolución GSM (EDGE, Enhanced Data rates for GSM Evolution)

los canales del sistema cdma2000, modelos para simular el sistema IS-95 y el estándar J-STD-008 para PCS, y la librería avanzada del sistema IS-136 "SPW136".

### 3.2 PROYECTOS REALIZADOS A NIVEL NACIONAL

Esta sección muestra los principales proyectos de acuerdo a la información encontrada en las Universidades y grupos de Investigación nacionales por medio de Internet y correo electrónico. El proyecto más destacado es el realizado por el Doctor Andrés Navarro Cadavid de la Universidad ICESI, denominado "Análisis de la Capacidad en Sistemas CDMA y WCDMA, usando herramientas de planificación basadas en GIS y Dinámica Poliédrica"<sup>36</sup>, presentado como tesis de doctorado en Telecomunicaciones en la Universidad Politécnica de Valencia, España. En el que desarrolló una herramienta de simulación que permite estimar en forma dinámica el comportamiento de los sistemas celulares de tercera generación y la relación de ciertos factores de planificación con la capacidad, como son: el tipo de antena, modelo de propagación, sectorización, entorno y tipo de terreno, entre otros. También se destacan los proyectos realizados en grupos de investigación nacionales como el Grupo de Investigación, Desarrollo y Aplicación en Telecomunicaciones e Informática (GIDATI) de la Universidad Pontificia Bolivariana de Medellín, que tiene dentro de planificación de proyectos el desarrollo de un Banco de simulación para comunicaciones basado en herramientas Matlab, y el Grupo de Radiocomunicaciones y Señales de la División de Ingenierías de la Universidad del Norte, que desarrollo el software TELESIM 2001, que permite simular la interfaz de aire de este sistema, básicamente CDMA. Por último la Escuela de Ingeniería Eléctrica y Electrónica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad del valle está desarrollando el proyecto de fin de carrera denominado "Simulación de la capa física para sistemas de comunicaciones móviles cdma2000 1x (estándar TIA/EIA/IS-2000.2-c)"<sup>37</sup>, cuyo objetivo principal es desarrollar un modelo de simulación de la capa física para sistemas de comunicaciones móviles cdma2000 1X (estándar TIA/EIA/IS-2000.2-C) de acuerdo a las configuraciones utilizadas en Colombia.

---

<sup>36</sup> NAVARRO CADAVID, Andrés. Análisis de la Capacidad en Sistemas CDMA y WCDMA. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Valencia, España.

<sup>37</sup> VEJARANO, Gustavo Adolfo. Simulación de la capa física para sistemas de comunicaciones móviles cdma2000 1x (estándar TIA/EIA/IS-2000.2-c). Tesis de fin de carrera. Escuela de ingeniería eléctrica y electrónica. Facultad de ingeniería. Universidad del valle. Colombia.

### 3.3 ESTADO DEL ARTE A NIVEL INSTITUCIONAL

En la Universidad del Cauca, se encuentra un solo trabajo relacionado con la simulación de sistemas CDMA, denominado “Técnicas de espectro ensanchado aplicadas en sistemas de acceso múltiple por división de código (CDMA)”<sup>38</sup>. En este trabajo se realiza una simulación de un sistema básico CDMA en el que se muestra los procesos de ensanchamiento y recuperación de la señal haciendo uso de los códigos de Walsh y de las secuencias pseudoaleatorias. La simulación se desarrolló en Labview.

---

<sup>38</sup> SILVA MARTINEZ, Carlos Eduardo y DELGADO RIVAS, Helver Raphael. Técnicas de espectro ensanchado aplicadas en sistemas de acceso múltiple por división de código (CDMA). TFIET 559. Tesis de fin de carrera. Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones. Universidad del Cauca. Colombia.

## 4. IMPLEMENTACION DE LA SIMULACIÓN

### INTRODUCCIÓN

En este capítulo se presentan los aspectos más relevantes de la implementación en el entorno Simulink de Matlab® del modelo de simulación del nivel físico de un enlace de tráfico de voz unidireccional móvil – estación base – móvil de un sistema cdma2000 1X RC3 a 9,6 kbps. Esta implementación se basa en la metodología desarrollada en el Anexo A de este documento y en el estándar TIA/EIA IS-2000.2-c. La descripción de los bloques y parámetros principales de la simulación se divide en cinco partes: Enlace ascendente modo transmisión, enlace ascendente modo recepción, enlace descendente modo transmisión, enlace descendente modo recepción y modelo de canal.

#### 4.1 ENLACE ASCENDENTE MODO TRANSMISIÓN

El enlace ascendente modo transmisión comprende tanto la fuente de datos a transmitir como los procesos de codificación, modulación y filtraje banda base realizados en la estación móvil transmisora (Ver figura 4.1).

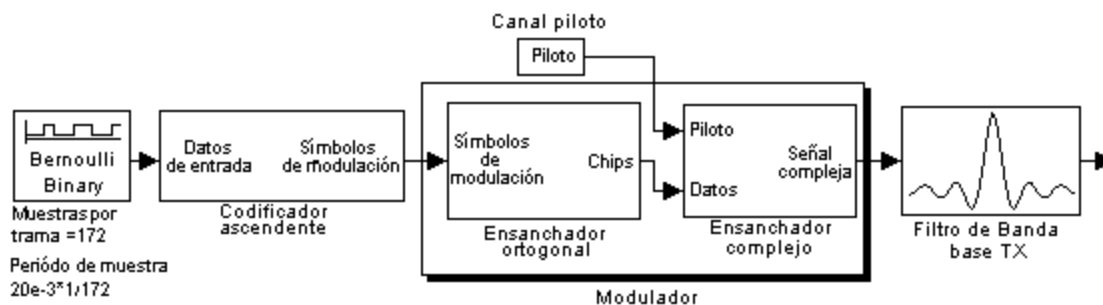
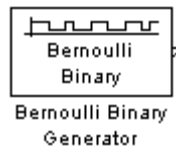


Figura 4.1 Enlace ascendente modo transmisión

#### 4.1.1 Fuente de datos

Para simular la señal de información de usuario que será enviada a través del sistema se utiliza el bloque “Bernoulli Binary Generator” del blockset<sup>39</sup> de comunicaciones.



*Figura 4.2. Generador de datos binarios aleatorios*

Descripción: Este bloque genera números binarios aleatorios utilizando la distribución de Bernoulli. Esta distribución con parámetro  $p$  produce un cero con probabilidad  $p$  y un uno con probabilidad  $1-p$ .

#### Parámetros

- Probabilidad de cero: Este parámetro define la probabilidad de ocurrencia de un cero en el flujo de bits aleatorios. Para la simulación se utiliza una probabilidad de 0,5 para que este flujo sea completamente aleatorio asignando igual probabilidad a la aparición de ceros y a unos.
- Semilla inicial: Este parámetro se utiliza para generar la secuencia inicial de bits aleatorios. Cada bloque generador de datos binarios independiente debe tener una semilla inicial diferente.
- Duración de la muestra: define el periodo de los bits de salida del generador. Para la simulación este valor se fija en 20/172 ms. Para cumplir con el estándar TIA/EIA IS-2000.2-c que especifica un valor máximo de 172 bits de información para la trama de 192 bits con duración de 20 ms y velocidad de 9,6 kbps.
- Frame based outputs: Este campo se habilita para especificar una salida basada en tramas.
- Muestras por trama: Cuando está habilitado el campo anterior, se utiliza este parámetro para definir el número de bits por trama. Para la simulación se fija en 172 muestras por trama.

<sup>39</sup> Blockset es un conjunto de bloques para aplicaciones específicas del entorno Simulink de Matlab®.

### 4.1.2 Codificador ascendente

La figura 4.3 muestra la implementación del bloque codificador definido en el modelo de simulación del anexo A. Se implementa a través de seis procesos o bloques internos, los cuales se describen a continuación.

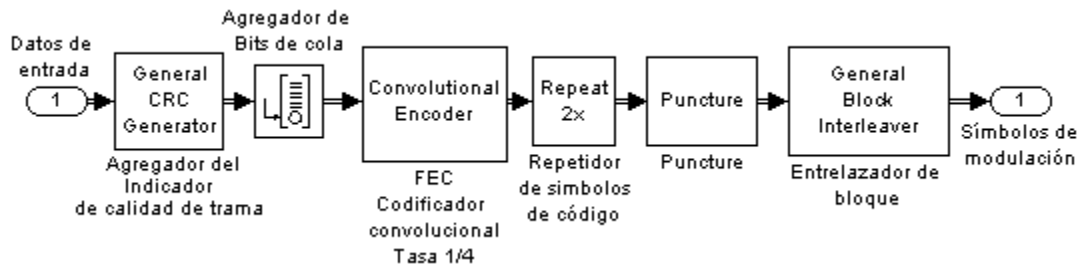


Figura 4.3. Implementación del codificador ascendente en Simulink

#### 4.1.2.1 Agregador de indicador de calidad de trama

Para implementar este proceso se utiliza el bloque “General CRC generator” del Blockset de comunicaciones.

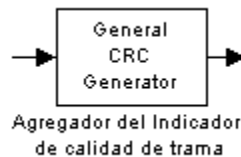


Figura 4.4. Agregador de indicador de calidad de trama

Descripción: Este bloque genera bits de código de redundancia cíclica para cada trama de entrada y los agrega al final de la misma.

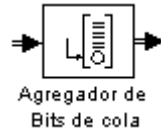
Parámetros:

- Polinomio generador: Vector que define los coeficientes del polinomio en orden descendente de potencias. Para la simulación se utiliza el vector [12 11 10 9 8 4 1 0], que representa al polinomio  $g(x) = x^{12} + x^{11} + x^{10} + x^9 + x^8 + x^4 + x + 1$  definido en 2.1.4.3 (2.1.3.9.2.1 del estándar TIA/EIA IS-2000.2-c).



#### 4.1.2.2 Agregador de bits de cola

Para implementar este proceso se utiliza el bloque “Zero Pad” del Blockset de Procesamiento Digital de Señales (DSP, Digital Signal Processing).



*Figura 4.5 Agregador de bits de cola*

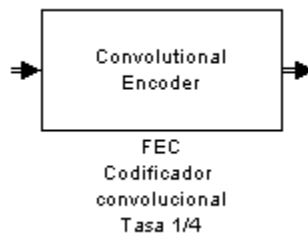
Descripción: Este bloque inserta o elimina ceros al inicio o al final de una trama.

Parámetros:

- Posición del relleno (Signal Pad): Especifica si se añade un relleno de ceros o se elimina este relleno al final o al comienzo de una trama.
- Número de bits de salida (Number of output rows): Este campo especifica el número de bits de salida del bloque de acuerdo a lo especificado por el usuario. Para la simulación este parámetro se fija en  $172 + 12 + 8$ , que corresponde a los  $172 + 12$  bits de entrada al bloque y los 8 bits de relleno de ceros especificados en 2.1.4.4 (2.1.3.9.2.2 del estándar TIA/EIA IS-2000.2-c).

#### 4.1.2.3 FEC

Para implementar este proceso se utiliza el bloque “Convolutional encoder”, del Blockset de comunicaciones.



*Figura 4.6. Codificador convolucional*

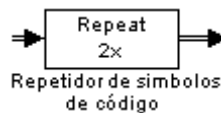
Descripción: Este bloque codifica convolucionalmente los datos binarios de entrada. Utiliza la función de Matlab “poly2trellis” para convertir las funciones generadoras en una estructura de trellis para la codificación.

Parámetros:

- Estructura de trellis: Especifica la estructura de trellis utilizada para la codificación convolucional. Para la simulación se utiliza la función poly2trellis con el siguiente formato: poly2trellis(9, [765 671 513 473]). Donde el 9 representa la longitud restringida y el vector [765 671 513 473] especifica las funciones generadoras en octal de acuerdo a 2.1.4.5 (2.1.3.1.4 del estándar TIA/EIA IS-2000.2-c).
- Reset: Este parámetro se utiliza para reiniciar los registros para cada trama de entrada.

#### 4.1.2.4 Repetidor

Para la implementación de este proceso se utiliza el bloque “repeater” del Blockset de DSP.



*Figura 4.7. Repetidor de símbolos de código*

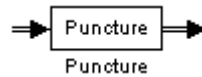
Descripción: Este bloque repite las muestras de entrada N veces.

Parámetros:

- Factor de repetición (Repetition count): Este parámetro especifica el factor de repetición del bloque. Para la simulación se escoge un factor de  $N = 2$  de acuerdo a 2.1.4.6 (2.1.3.1.5 del estándar TIA/EIA IS-2000.2-c).
- Modo de trama (Frame-based mode): Este parámetro permite especificar si al repetir los bits se mantiene la tasa de bits o la velocidad de trama. Para la simulación se mantiene la velocidad de trama.

#### 4.1.2.5 Puncture

Para la implementación de este proceso se utiliza el bloque “puncture” del Blockset de DSP.



*Figura 4.8 Puncture.*

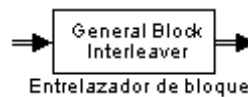
Descripción: Elimina o deja pasar los bits de acuerdo a un patrón de puncture. Elimina los bits de las posiciones marcadas con cero y deja pasar los bits de las posiciones marcadas en uno.

Parámetros:

- Vector de puncture: Vector que especifica las posiciones de los bits que se dejan pasar o se eliminan según el valor binario que contengan. Para la simulación se utiliza el vector [1] que deja pasar todos los bits cumpliendo lo definido en 2.1.4.7 (tabla 2.1.3.1.2.1-10. del estándar TIA/EIA IS-2000.2-c).

#### 4.1.2.6 Entrelazador de bloque

Para la implementación del entrelazado de bloque se utiliza el bloque “General Block interleaver” del Blockset de comunicaciones.



*Figura 4.9. Entrelazador de bloque*

Descripción: Este bloque ordena los elementos del vector de entrada de acuerdo al vector de posiciones que se le especifica.

Parámetros:

- Elementos: Parámetro que especifica el orden de salida de los elementos de entrada. Para la simulación se utiliza la función interleavertable\_as.m desarrollada de acuerdo a lo especificado en 2.1.4.8 (2.1.3.1.7 del estándar TIA/EIA IS-2000.2-c).

### 4.1.3 Modulador

La figura 4.10 muestra la implementación del bloque modulador definido en el modelo de simulación del anexo A. Se implementa a través de dos procesos o bloques internos, los cuales se describen a continuación.

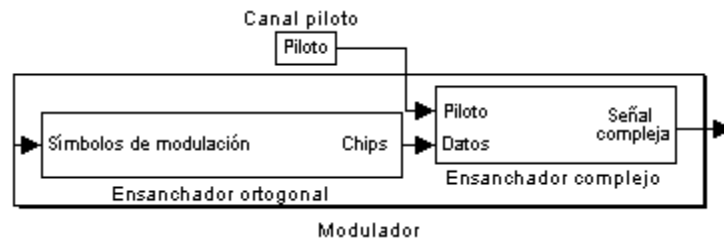


Figura 4.10. Modulador del canal ascendente

#### 4.1.3.1 Ensanchador ortogonal

Este bloque se implementa por medio de los siguientes bloques:

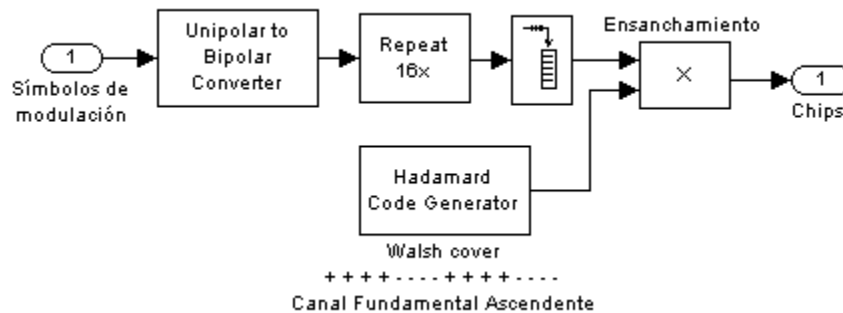
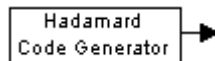


Figura 4.11. Ensanchador ortogonal

Descripción: La señal unipolar de entrada es adaptada al proceso de ensanchamiento ortogonal convirtiéndola a una señal bipolar negativa ( $0 \rightarrow 1$ ,  $1 \rightarrow -1$ ) y repitiéndola en un factor igual a la longitud del código de Walsh a utilizar, esto se realiza para eliminar la incompatibilidad entre las dos señales sin alterar su contenido. El proceso de ensanchamiento lo realiza el multiplicador en tramas de 64 bits entre la señal de entrada adaptada y la señal del generador de código de Hadamard correspondiente al código de Walsh utilizado (Ver figura 4.11). El bloque generador de código de Hadamard pertenece al Blockset de comunicaciones y se describe a continuación.

#### 4.1.3.1.1 Generador de código de Hadamard

Se utilizó el bloque “Hadamard Code Generator” para la generación de los códigos de Walsh. Debido a la facilidad y compatibilidad en la notación de sus parámetros con respecto a los parámetros y códigos utilizados en el estándar TIA/EIA IS-2000.2-c.



*Figura 4.12. Generador de código de Hadamard (Códigos de Walsh)*

Descripción: Este bloque genera un código de Hadamard a partir de una matriz de Hadamard, cuyas filas forman un conjunto de códigos ortogonales.

Parámetros:

- Longitud de código: Especifica el número de bits del código que se genera. Para la simulación se utiliza una longitud de '16' de acuerdo a lo especificado en 2.1.3.7.2 para el canal fundamental ascendente (2.1.3.1.8.2 del estándar TIA/EIA IS-2000.2-c).
- Índice de código: Indica cual código del conjunto generado se utiliza. Para la simulación este parámetro se fija en '4' de acuerdo a 2.1.3.7.2 para el canal fundamental ascendente (2.1.3.1.8.2 del estándar TIA/EIA IS-2000.2-c).
- Periodo de la muestra: Para la simulación se fija este valor en 1/1,2288e6 segundos, correspondiente a la tasa de chips de 1,2288 Mcps especificada en el estándar.
- Muestras por trama: Se utilizan 64 muestras por trama para la simulación.

#### 4.1.3.2 Ensanchador complejo

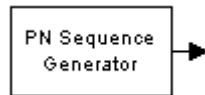
Este bloque tiene la siguiente implementación:



Los bloques fundamentales de este generador se describen a continuación.

#### 4.1.3.2.1.1 Generador de secuencias PN

El bloque generador de secuencias PN pertenece al Blockset de comunicaciones.



*Figura 4.15. Generador de secuencias PN*

Descripción: Este bloque genera secuencias de bits pseudo-aleatorias utilizando registros de corrimiento de realimentación lineal. La configuración de estos registros está especificada por el parámetro polinomio generador.

Parámetros:

- Polinomio generador: El valor de este parámetro representa las conexiones del registro de corrimiento, puede ser un vector con valores binarios o un vector de enteros que representan las potencias del polinomio en orden descendente. Para la simulación se utilizan los vectores [15 13 9 8 7 5 0] para el canal en fase y [15 12 11 10 6 5 4 3 0] para el canal en cuadratura. Estos polinomios están especificados en 2.1.3.9 (2.1.3.1.12.1 del estándar TIA/EIA IS-2000.2-c).
- Estado inicial: Parámetro que define el estado inicial de los registros de corrimiento. Para la simulación se utiliza el vector [1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0].
- Desplazamiento: Parámetro que representa el desplazamiento de la secuencia PN que identifica a cada estación base. Para la simulación se utiliza un desplazamiento '0'.
- Periodo de muestra: Parámetro que define la duración de una muestra de la secuencia PN. Para la simulación se fija este valor a  $2/(75 \cdot (2^{15} - 1))$  para cumplir lo especificado en 2.1.3.9.
- Muestras por trama: Parámetro que determina el número de muestras que contiene la trama. Para la simulación y según el estándar este valor se fija en  $2^{15} - 1$ .





#### 4.1.3.2.1.4 Cubierta de Walsh (Walsh cover)

Este bloque tiene la misma descripción del generador de código de Hadamard.

Parámetros

- Longitud de código: Para la simulación y de acuerdo a 2.1.3.1.12 del estándar TIA/EIA IS-2000.2-c este valor se fija en '2'.
- Índice de código: Para la simulación y de acuerdo a 2.1.3.1.12 del estándar TIA/EIA IS-2000.2-c este valor se fija en '1'
- Periodo de la muestra: Para la simulación se fija este valor en  $1/1,2288e6$  segundos, correspondiente a la tasa de chips de 1,2288 Mcps especificada en el estándar.
- Muestras por trama: Se utilizan 64 muestras por trama para la simulación.

#### 4.1.3.2.1 Multiplicador complejo



Figura 4.17. Multiplicador complejo

Descripción: Este bloque realiza la multiplicación compleja  $(a + jb)^*(c + jd)$  cuyo resultado es  $(ac - bd) + j(ad + bc)$ . Su implementación interna es la siguiente

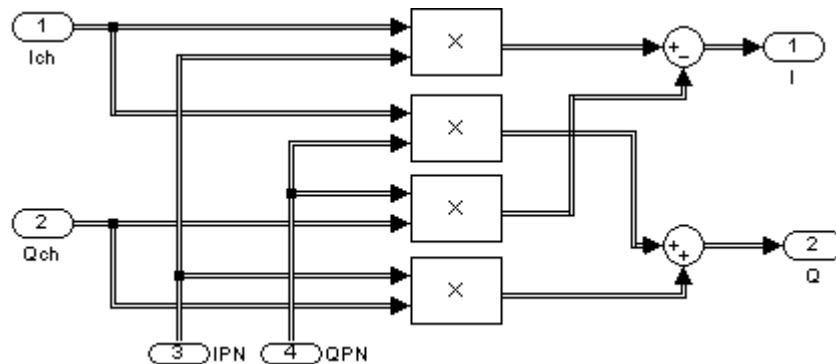


Figura 4.18. Implementación interna del multiplicador complejo

### 4.1.3.3 Canal piloto

Este bloque simula los datos del canal piloto del enlace ascendente.

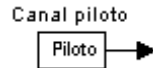


Figura 4.19. Canal piloto

Descripción: Este bloque tiene la siguiente implementación interna.

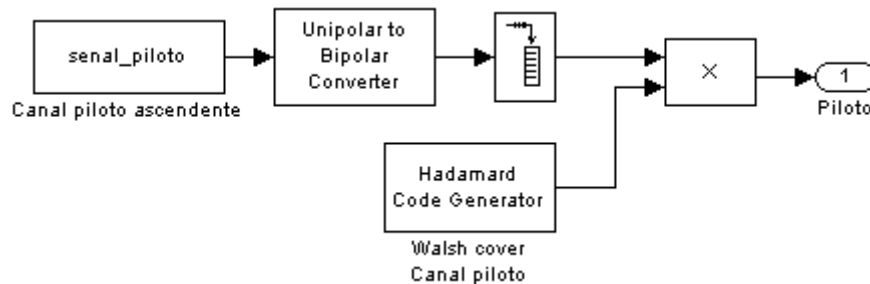


Figura 4.20. Implementación interna del canal piloto

Básicamente se compone de un generador de códigos de Hadamard que genera el código de Walsh  $W_0^{32}$  para ortogonalizar el canal, como se describe en 2.1.2.3 (2.1.3.1.8.2 del estándar TIA/EIA IS-2000.2-c), y una señal proveniente de la función “senal\_piloto.m” que retorna una trama de 1152 bits en ‘cero’ (Bits piloto) más 384 bits en ‘uno’ (Subcanal de control de potencia).

### 4.1.4 Filtro de banda base

Para el filtraje de banda base se utiliza el filtro disponible en el Blockset de cdma IS-95 de Simulink, debido a que los coeficientes y por lo tanto las características del mismo son idénticas a las especificadas por el estándar cdma2000 1X.

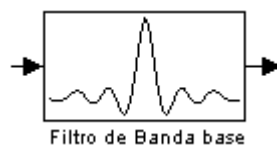


Figura 4.21. filtro de banda base

Descripción: Este bloque utiliza un filtro FIR de interpolación. Este tipo de filtro aumenta la tasa de bits insertando ceros entre los bits de acuerdo al factor de interpolación. El filtraje de banda base introduce un retardo de 12 muestras de la señal de entrada al mismo.

Parámetros:

- Coeficientes del filtro FIR: Parámetro que define los coeficientes del filtro FIR. Para la simulación se utiliza el archivo h.mat (propio de matlab) que contiene los coeficientes especificados en 2.1.3.10 (2.1.3.1.13 del estándar TIA/EIA IS-2000.2-c).
- Factor de interpolación (N): Parámetro que especifica el número de ceros que el filtro introduce entre las muestras en una proporción de  $N - 1$ . Para la simulación  $N = 8$ .
- Entramado (Framing): Campo en el que se especifica si el filtro mantiene la tasa de bits o la velocidad de tramas. Para la simulación se mantiene la velocidad de trama.

## 4.2 ENLACE ASCENDENTE MODO RECEPCIÓN

El enlace ascendente modo recepción comprende los procesos de filtraje de banda base, recepción, desensanchamiento ortogonal y decodificación, realizados en el receptor de la estación base. (Ver figura 4.22).

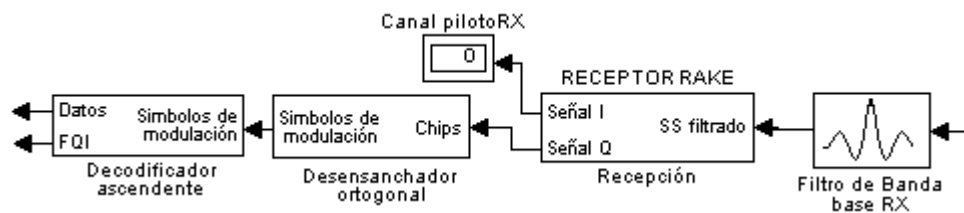


Figura 4.22 Enlace ascendente modo recepción

### 4.2.1 Filtro de banda base

La implementación del filtro de banda base del modo recepción es idéntica a la descrita para el enlace ascendente en modo transmisión. Sin embargo el parámetro factor de interpolación se cambia a  $N = 1$ .

## 4.2.2 Receptor Rake

El siguiente bloque realiza el proceso de recepción de multitrayectoria basado en el principio de la recepción Rake.

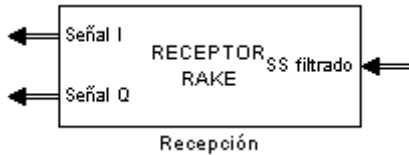


Figura 4.23. Receptor Rake

Descripción: La implementación interna de este bloque contiene los siguientes subbloques: "Downsample", ramas del receptor Rake, combinador, detector de signo; como se puede observar en la siguiente figura:

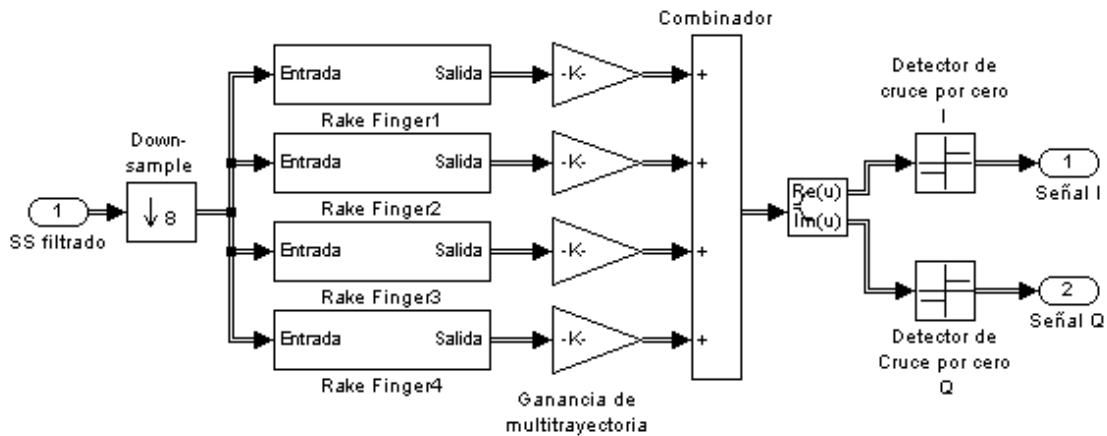


Figura 4.24. Implementación interna del receptor Rake

### 4.2.2.1 Downsample

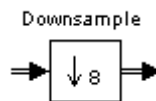


Figura 4.25. Downsample

Descripción: Este bloque recupera la tasa de trama original (Antes del filtraje de banda base en transmisión) eliminando los ceros insertados en el proceso de filtraje de transmisión.

Parámetros:

- Factor K: Parámetro que especifica el factor por el cual se disminuirán las muestras de la señal de entrada. Para la simulación se utiliza un factor  $K = 8$ , ya que el factor de interpolación del filtraje de banda base corresponde a este valor.
- Modo de entramado: Campo en el que se especifica si se mantiene la tasa de bits o la tasa de tramas. Para la simulación se mantiene la tasa de trama.

#### 4.2.2.2 Ramas del receptor Rake (Rake finger)

Este bloque realiza un proceso de correlación entre la señal recibida y el conjugado de las secuencias PN generadas localmente para invertir el proceso de ensanchamiento complejo realizado en el transmisor. Cada rama del receptor introduce un retardo y una ganancia diferente de acuerdo a los retardos y ganancias especificadas para el modelo de canal de multitrayectoria. La implementación interna de una rama del receptor Rake se muestra a continuación:

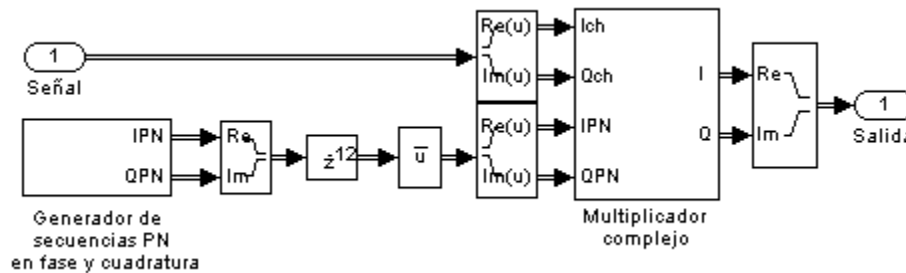


Figura 4.26. Implementación de la rama del Receptor RAKE

##### 4.2.2.2.1 Generador de secuencias PN en fase y cuadratura

La implementación interna de este bloque es idéntica a la descrita para el modo transmisión.

##### 4.2.2.2.2 Retardo

Este bloque hace parte del Blockset de DSP. Este bloque compensa el retardo ocasionado por el filtro de banda base y por la multitrayectoria.

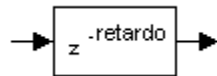


Figura 4.27. Retardo

Descripción: Retarda la señal de entrada en un número de muestras definido por el usuario.

Parámetros:

- Retardo (Número de muestras): Parámetro que determina el factor de retardo de la señal de entrada. Para la simulación se utiliza un retardo diferente para cada rama, este retardo esta conformado por las doce muestras del retardo originado por el filtraje de banda base y el retardo del trayecto de propagación de una determinada componente de multitrayectoria de la señal.

#### 4.2.2.2.3 Conjugado

Para esta operación se emplea el bloque denominado “math” y de acuerdo a su configuración realiza la función matemática del complejo conjugado de la señal de entrada.

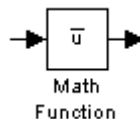


Figura 4.28. Complejo conjugado

Descripción: El bloque “math” permite realizar las operaciones matemáticas básicas, entre estas se encuentran el logaritmo, exponentes, complejo conjugado, etc.

Parámetros:

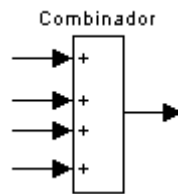
- Función: Determina la operación matemática que se desea realizar. Para la simulación se selecciona la opción “conj” que corresponde al complejo conjugado.

#### 4.2.2.2.4 Multiplicador complejo

La implementación interna de este bloque es idéntica a la descrita para el modo transmisión.

#### 4.2.2.3 Combinador

La combinación de las señales de salida de las diferentes ramas del receptor Rake se realiza por medio del bloque "Sum" de Simulink.



*Figura 4.29. Combinador*

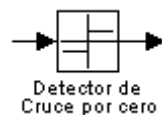
Descripción: Este bloque realiza la suma de las señales de entrada.

Parámetros:

- Número de señales de entrada: Parámetro mediante el cual se especifica el número de señales que se sumarán. Para la simulación el número de señales de entrada es de cuatro.

#### 4.2.2.4 Detector de cruce por cero

La regeneración de los pulsos bipolares recibidos se realiza por medio del bloque "sign" de Simulink.



*Figura 4.30. Detector de cruce por cero.*

Descripción: Este bloque realiza la detección de signo de la señal de entrada. Asigna el valor de uno a las señales positivas y el valor de menos uno a las señales negativas.

Parámetros:

- Habilitar detección de cruce por cero: Parámetro que activa la detección de cruce por cero. Para la simulación este parámetro se habilita.

#### 4.2.3 Desensanchador ortogonal

El proceso inverso al ensanchamiento ortogonal del transmisor se realiza en este bloque.

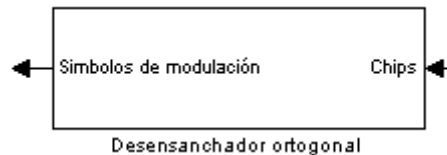


Figura 4.31. Desensanchador ortogonal

Descripción: Este bloque realiza la multiplicación de la señal de entrada por el código de Walsh del canal fundamental ascendente, posteriormente adapta el flujo de tramas, invierte el proceso de repetición y convierte la señal bipolar a una señal unipolar. Su implementación interna es la siguiente:

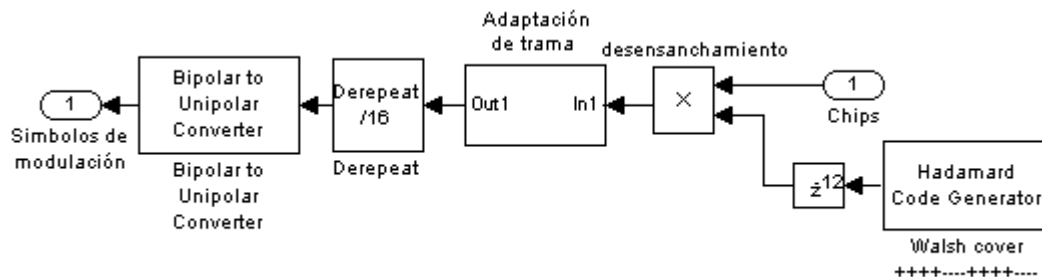


Figura 4.32 Implementación interna del desensanchador ortogonal.

##### 4.2.3.1 Cubierta de Walsh (Walsh Cover)

Este bloque tiene la misma descripción y parámetros del generador de códigos de Hadamard del ensanchador ortogonal.

##### 4.2.3.2 Retardo

Es el retardo introducido para compensar el efecto del filtro de banda base. Descripción idéntica al retardo de las ramas del receptor Rake.



Parámetros:

- Retardo(Numero de muestras): doce para la simulación

#### 4.2.3.3 Adaptación de trama

Este bloque realiza un proceso de adaptación del flujo de tramas por medio de la utilización de buffers para la compensación del retardo.

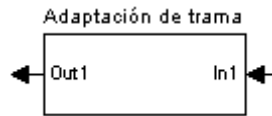


Figura 4.33. Adaptación de trama

Descripción:

La implementación interna de este bloque se muestra a continuación:

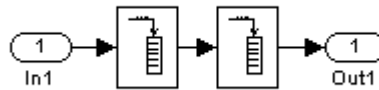


Figura 4.34. Implementación interna del bloque de adaptación de trama

Se utilizan buffers del Blockset de DSP para introducir un relleno de ceros (2 tramas de relleno con 24576 bits en cero) que compensan los bits de retardo ocasionados por los procesos de filtraje de banda base.

##### 4.2.3.3.1 Buffer

Bloque del Blockset de DSP.

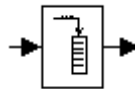


Figura 4.35. Buffer

Descripción: Este bloque recibe un flujo de bits y lo adapta en tramas de longitud especificada por el usuario. La primera trama que este bloque envía esta formada por bits en cero.

Parámetros:

- Tamaño del buffer de salida: Parámetro que especifica el tamaño de trama que el buffer entregará.

#### 4.2.3.4 Derepeater

Ejecuta el proceso inverso al realizado en el ensanchador ortogonal para adaptar las señales a la multiplicación (Por medio de un repetidor de factor 16). Este bloque pertenece al Blockset de comunicaciones.

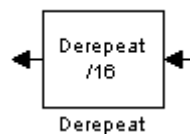


Figura 4.36. Derepeater.

Descripción: Este bloque elimina los símbolos repetidos introducidos por el bloque “Repeater” en un factor definido por el usuario.

Parámetros:

- Factor de eliminación (Derepeat factor): Parámetro que representa el factor de eliminación. Para la simulación este parámetro se fija en 16.

#### 4.2.4 Decodificador

El proceso de decodificación, inverso al realizado por el codificador del transmisor, lo realiza este bloque.

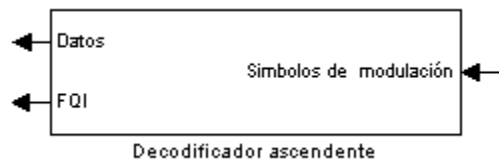


Figura 4.37. Decodificador ascendente.

Descripción: Este bloque realiza todos los procesos inversos a los realizados en el codificador mediante la siguiente implementación interna.

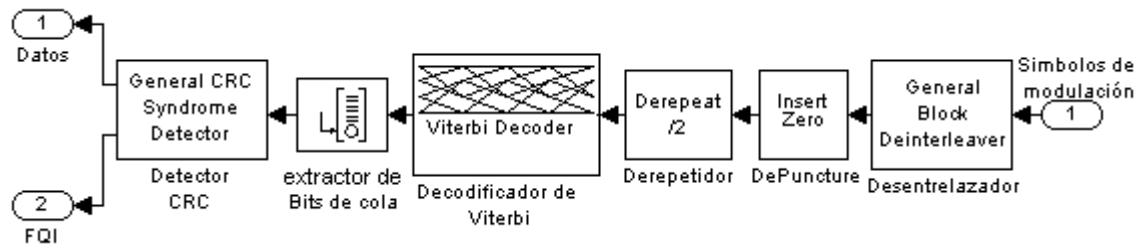


Figura 4.38. Implementación interna del decodificador

#### 4.2.4.1 Desentrelazador

La recuperación del orden de los bits anterior al proceso de entrelazamiento del transmisor se realiza por medio del bloque “General Block Deinterleaver” del Blockset de comunicaciones.



Figura 4.39. Desentrelazador

Descripción: Este bloque reordena los elementos del vector de entrada de acuerdo al vector de posiciones que se le especifica.

Parámetros:

- Elementos: Parámetro idéntico al utilizado en el entrelazador del transmisor.

#### 4.2.4.2 Depuncture

El proceso inverso al puncturing realizado en el transmisor lo realiza el bloque “InsertZero” del Blockset de comunicaciones.

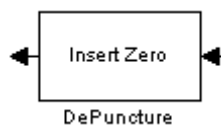


Figura 4.40 Depuncture

Descripción: Este bloque inserta ceros de acuerdo a un vector de inserción de ceros que indica la posición en la que deben ser insertados.

Parámetros:

- Vector de inserción de ceros: Parámetro que indica la posición en la cual se insertaran los ceros. Tiene el mismo valor que el patrón de puncturing. Para la simulación se fija el vector en [1] ya que no hay proceso de puncturing para la velocidad fija de bits de 9,6 kbps.

#### 4.2.4.3 Derepeater

Este bloque tiene la misma descripción del bloque derepeater del desensanchador ortogonal, se utiliza para eliminar los símbolos repetidos introducidos en el codificador. El factor de eliminación se fija en '2'.

#### 4.2.4.4 Decodificador de Viterbi

El proceso de decodificación convolucional se realiza utilizando el bloque de decodificación de Viterbi del Blockset de comunicaciones.



*Figura 4.41. Decodificador de Viterbi*

Descripción: Este bloque utiliza el algoritmo de Viterbi para realizar el proceso de decodificación convolucional. Utiliza la misma función Poly2trellis del codificador convolucional para formar una estructura de Trellis a partir de las funciones generadores del código convolucional y de la longitud restringida.

Parámetros:

- Estructura de Trellis: Campo que especifica la estructura de Trellis que el decodificador utilizara. Se introduce por medio de la función "Poly2trellis" de Matlab®.

- Tipo de decisión: Parámetro que determina el funcionamiento del bloque de acuerdo a los valores de entrada. Para la simulación se utiliza el decisión fuerte para valores unipolares de entrada de cero y uno.
- Modo de operación: Parámetro que determina que método utiliza el bloque. Para la simulación se utiliza el modo “Truncated”. En este modo el bloque trata a cada trama independientemente.

#### 4.2.4.5 Extractor de bits de cola

La extracción de los bits de cola insertados en el codificador también la realiza el bloque “Zero Pad” del Blockset de DSP que fue descrito para el codificador.



Figura 4.42 Extractor de bits de cola

Parámetros:

- Posición del relleno (Signal Pad): Al final de la trama.
- Número de bits de salida (Number of output rows): Este parámetro se fija en  $172 + 12$ , de tal forma que elimina 8 bits de la trama de 192 bits de entrada.

#### 4.2.4.6 Detector CRC

La detección de errores por medio del método CRC se realiza utilizando el bloque “General CRC Syndrome detector” del Blockset de comunicaciones.

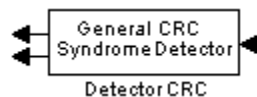


Figura 4.43 Detector CRC

Descripción: Detecta los errores de la trama de entrada de acuerdo al polinomio generador. Realiza el proceso inverso al realizado en el agregador de indicador de calidad de trama (CRC).

Parámetros:

- Polinomio generador: Este parámetro representa al polinomio generador de CRC y es un vector que define los coeficientes del polinomio en orden descendente de potencias. Para la simulación se fija este valor en [12 11 10 9 8 4 1 0] que es idéntico al parámetro utilizado en el agregador de calidad de trama.

### 4.3 ENLACE DESCENDENTE MODO TRANSMISIÓN

El enlace descendente modo transmisión comprende procesos de codificación, scrambling de datos, ensanchamiento cuasi-ortogonal, ensanchamiento complejo y filtraje de banda base realizados en la estación base transmisora (Ver figura 4.44).

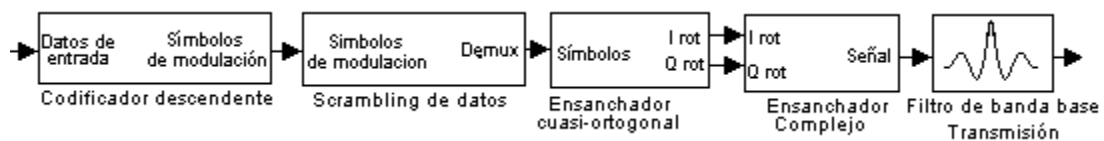


Figura 4.44 Enlace descendente modo transmisión

#### 4.3.1 Codificador descendente

La figura 4.45 muestra la implementación interna del bloque codificador del enlace descendente en modo transmisión.

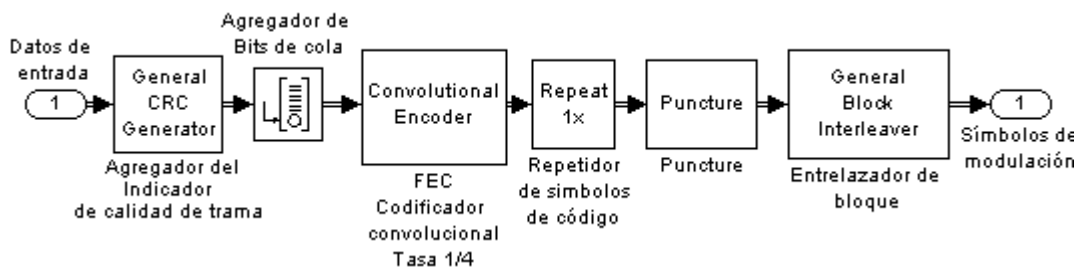


Figura 4.45. Implementación interna del codificador descendente en Simulink

#### **4.3.1.1 Agregador de indicador de calidad de trama**

La implementación del agregador de calidad de trama del enlace descendente es idéntica a la definida para el agregador de calidad de trama del enlace ascendente. Utiliza los mismos valores de los parámetros

#### **4.3.1.2 Agregador de bits de cola**

La implementación del agregador de bits de cola es idéntica a la definida para el agregador de bits de cola del enlace ascendente. Utiliza los mismos valores de los parámetros

#### **4.3.1.3 FEC**

La implementación del codificador convolucional es idéntica a la definida para el enlace ascendente. Utiliza los mismos valores de los parámetros

#### **4.3.1.4 Repetidor**

La implementación del repetidor es idéntica a la definida para el enlace ascendente. Sin embargo el parámetro de factor de repetición es diferente en valor.

Parámetros:

- Factor de repetición (Repetition count): Para la simulación se escoge un factor de 1X de acuerdo a 2.2.5.4 (3.1.3.1.5 del estándar TIA/EIA IS-2000.2-c).

#### **4.3.1.5 Puncture**

La implementación del Puncture del enlace descendente es idéntica a la definida para el enlace ascendente. Tiene los mismos valores de los parámetros.

#### 4.3.1.6 Entrelazador de bloque

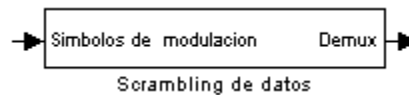
La implementación del entrelazador de bloque es idéntica a la definida para el enlace ascendente. Sin embargo la función de salida del entrelazador es diferente.

Parámetros:

- Elementos: Para la simulación se utiliza la función “interleavertable\_ds.m” desarrollada de acuerdo a lo especificado en 2.2.5.6 (3.1.3.1.7 del estándar TIA/EIA IS-2000.2-c).

#### 4.3.2 Scrambling de datos

En este bloque se realizan los procesos de scrambling de código largo e inserción de bits de control de potencia.



*Figura 4.46 Scrambling de datos*

Descripción: La implementación interna de este bloque se muestra en la figura 4.47. Este bloque recibe los símbolos de modulación provenientes del codificador descendente, los organiza en tramas de 48 bits, convierte la señal unipolar a bipolar y realiza el proceso de Scrambling de código largo, finalmente inserta los bits de control de potencia de acuerdo a la posición indicada por el subbloque de extracción de posición de bits de control de potencia. La implementación interna está basada en la implementación hecha por Alex Rodríguez de MathWorks.





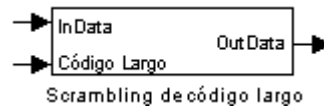


Figura 4.48 Scrambling de código largo

Descripción: La implementación interna del Scrambling de código largo se muestra en la figura 4.49. Esta implementación se encuentra disponible en el ejemplo de simulación del enlace descendente de cdma2000 1X RC3 proporcionado por Mathworks.

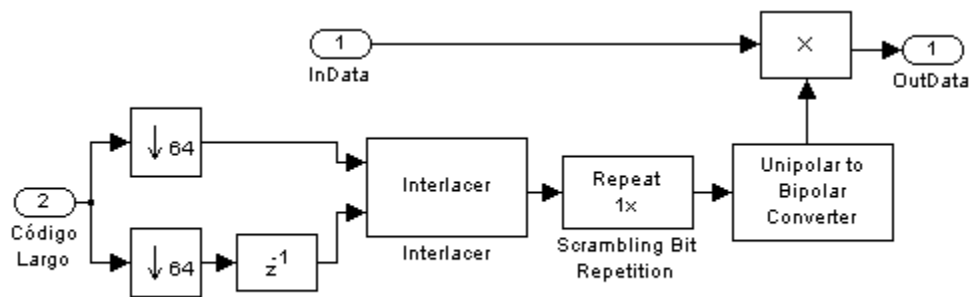


Figura 4.49 Implementación interna del bloque de scrambling de código largo.

Este bloque recibe el flujo de bits del generador de código largo, reduce las muestras en un factor de 64 para extraer pares de bits I y Q del flujo (a la velocidad de la señal a la salida del codificador, es decir 38,4 kbps) y los combina por medio del bloque “Interlacer “. Este bloque combina los pares extraídos (Cada uno a una velocidad de 19,2 kbps) y forma un solo flujo de bits a 38,4 kbps. Posteriormente se realiza un proceso de repetición de bits determinado por el factor “Scrambling Bit Repetition” que para el canal fundamental descendente es 1X. La señal unipolar resultante se convierte en una señal bipolar para multiplicarse con el flujo de bits proveniente del codificador descendente.

#### 4.3.2.2.1 Interlacer

La formación del flujo de bits a partir de los pares I y Q extraídos se realiza por medio del bloque “Interlacer” del Blockset de comunicaciones.

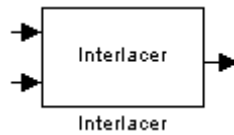


Figura 4.50 Interlacer

Descripción: Este bloque combina los elementos de las señales de entrada para generar una señal de salida única. Los elementos de la primera señal son los elementos impares de la señal de salida, mientras que los elementos de la segunda señal son los elementos pares de la señal de salida.

#### 4.3.2.3 Extractor de posición de bits de control de potencia

Este bloque es el encargado de determinar la posición en la que los bits de control de potencia serán insertados en el flujo de bits de salida del scrambling de código largo, a partir de los bits de código largo.

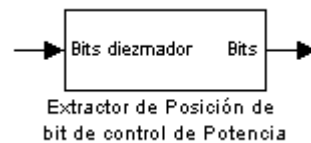


Figura 4.51 Extractor de posición de bits de control de potencia.

Descripción: Este bloque recoge la señal de código largo y mediante la siguiente implementación interna determina la posición en la que los bits de control de potencia serán insertados. Esta implementación se encuentra disponible en el ejemplo de simulación del enlace descendente de cdma2000 1X RC3 proporcionado por Mathworks.

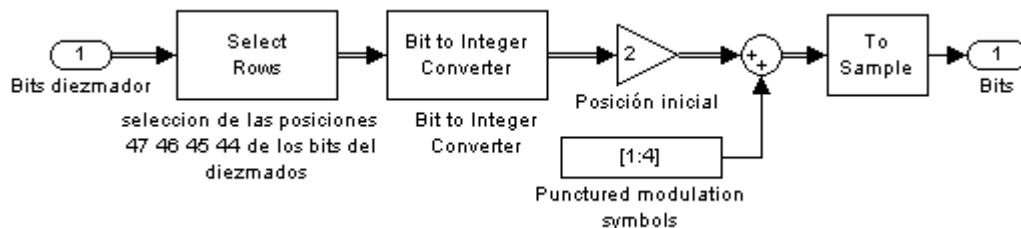


Figura 4.52 Implementación interna del Extractor de Posición de bits de control de potencia.

El procedimiento de extracción de posición se encuentra completamente descrito en el numeral 3.1.3.1.11 del estándar TIA/EIA IS-2000.2-c.

#### 4.3.2.3.1 Selección de las posiciones 47, 46, 45 y 44

Este proceso se realiza por medio del bloque selector multipuerto del Blockset de DSP.

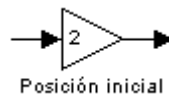
Descripción: Este bloque extrae los bits de las posiciones 47, 46, 45 y 44 de la trama de 48 bits de entrada proveniente del generador de código largo.

Parámetros:

- Tipo de selección (Selector): Este campo permite especificar el tipo de selección que hará el bloque. Pueden ser filas o columnas de la señal de entrada. Para la simulación se seleccionan filas.
- Índices de salida: Este parámetro indica la posición de los bits a extraer de la señal de entrada. Para la simulación este parámetro se fija al vector {[47 46 45 44]+1} para extraer las posiciones especificadas en la tabla 2.17 para radio configuración 3 modo non-TD. (tabla 3.1.3.1.11-1. del estándar TIA/EIA IS-2000.2-c).

#### 4.3.2.3.2 Posición inicial

La posición inicial se fija por medio del bloque ganancia de Simulink.



*Figura 4.53. Posición inicial*

Descripción: Este bloque introduce una ganancia a la señal de entrada.

Parámetros:

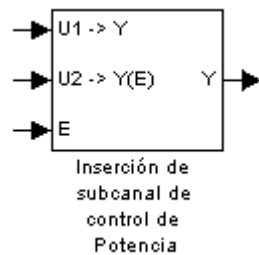
- Ganancia: Parámetro que permite fijar el valor de la ganancia que se va a insertar. Para la simulación este valor se fija en '2'. El objetivo de este valor es cumplir con las posiciones pares especificadas en la tabla 2.17 (3.1.3.1.11-1. del estándar TIA/EIA IS-2000.2-c). (0, 2 , ... , 30)

#### 4.3.2.3.3 Símbolos de modulación Reemplazados (Punctured modulation symbols)

Esta constante del Blockset de DSP, permite fijar el valor de los símbolos de modulación que serán reemplazados por los bits de control de potencia. Para la simulación este valor se fija en [1 2 3 4] para cumplir con lo especificado en la tabla 2.17 (3.1.3.1.11-1. del estándar TIA/EIA IS-2000.2-c).

#### 4.3.2.4 Inserción de subcanal de control de potencia.

La inserción de los bits de control de potencia dentro del flujo de bits del canal fundamental descendente se realiza por medio del bloque "Assignment" de Simulink.

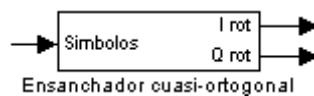


*Figura 4.54 Inserción de subcanal de control de potencia.*

Descripción: Este bloque inserta los bits de la entrada U2 en el flujo U1 de acuerdo a las posiciones determinadas por E.

#### 4.3.3 Ensanchador cuasi-ortogonal

Este bloque realiza el proceso de ensanchamiento cuasi-ortogonal que incluye los procesos de demultiplexación, multiplicación QOF y rotación de Walsh implementados de acuerdo a 2.2.4.10 (3.1.3.1.15 del estándar TIA/EIA IS-2000.2-c).



*Figura 4.55 Ensanchador cuasi-ortogonal*

Descripción: Este bloque presenta la siguiente implementación interna:

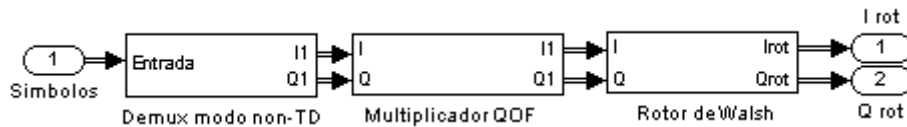


Figura 4.56 Implementación interna del ensanchador cuasi-ortogonal.

#### 4.3.3.1 Demultiplexor modo non- TD

Este bloque se encarga de separar el flujo de datos de entrada en dos flujos (Los bits pares y los bits impares) en fase y en cuadratura y los adapta para la posterior multiplicación QOF.

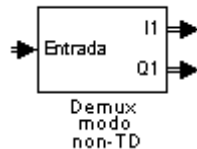


Figura 4.57 Demultiplexor modo non- TD

Descripción: Este bloque realiza la demultiplexación de los bits de entrada por medio de la siguiente implementación interna.

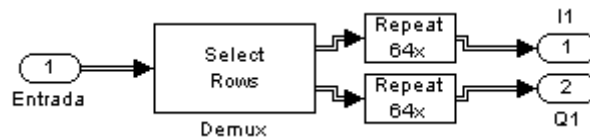


Figura 4.58 Implementación interna del demultiplexor modo non- TD

El flujo de entrada se separa en dos flujos, un flujo de bits pares y un flujo de bits impares que representaran los flujos en cuadratura y en fase en las siguientes fases del ensanchador. Cada uno de estos flujos es repetido en un factor de 64X para asegurar compatibilidad en las señales que más adelante se multiplicaran con la función QOF.

#### 4.3.3.2 Multiplicador QOF

Este bloque se encarga de generar los códigos cuasi-ortogonales a partir de códigos de Walsh y una máscara QOF. Estos Códigos se multiplican con los flujos I y Q de salida del demultiplexor modo non- TD.

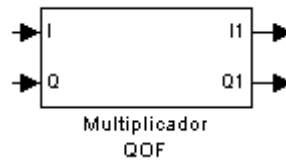


Figura 4.59 Multiplicador QOF

Descripción: La implementación de este bloque se muestra a continuación:

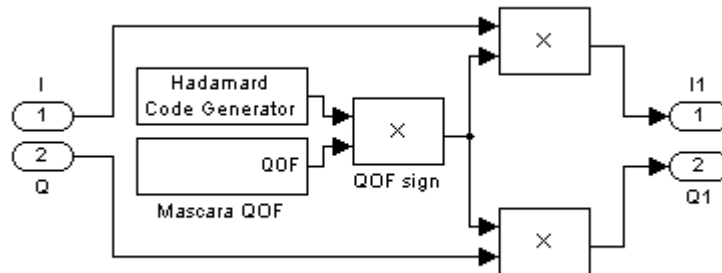


Figura 4.60 Implementación interna del multiplicador QOF

Los códigos cuasi-ortogonales se generan multiplicando códigos de Walsh (Códigos Ortogonales) por una máscara QOF. En la simulación los códigos de Walsh se generan utilizando el bloque de generación de códigos de Hadamard con longitud 64 e índice 20 para el canal fundamental descendente. La máscara QOF se obtiene a partir de la función “mascara\_QOF.m”. Esta función retorna el valor binario de la máscara especificada por el usuario. Los posibles valores de las máscaras QOF se encuentran en la tabla 2.19 tabla (3.1.3.1.15-2. del estándar TIA/EIA IS-2000.2-c).

#### 4.3.3.3 Rotor de Walsh

Este bloque realiza el proceso de rotación de Walsh que se describe en la figura 2.22 (figura 3.1.3.1.1.1-22. del estándar TIA/EIA IS-2000.2-c).

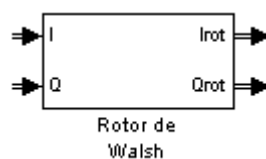


Figura 4.61 Rotor de Walsh

Descripción: El proceso de rotación de Walsh desfasa la señal 90 grados de acuerdo a los valores de los bits del código de Walsh de rotación. La implementación interna de éste bloque se muestra en la figura 4.62. Los bits de entrada se mapean de acuerdo al patrón especificado por el bloque “Mapeo”:

- Si el bit del código de Walsh de rotación es ‘0’ no hay rotación ( $I_{rot} = I$ ,  $Q_{rot} = Q$ ).
- Si el bit del código de Walsh de rotación es ‘1’ hay rotación ( $I_{rot} = jI$ ,  $Q_{rot} = jQ$ ).

La implementación interna de este bloque se muestra a continuación.

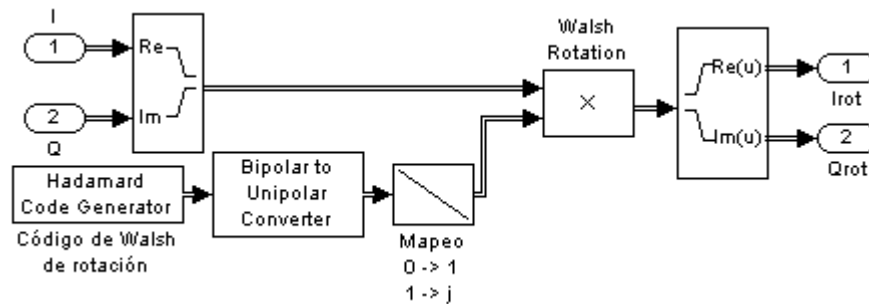


Figura 4.62 Implementación interna del Rotor de Walsh

#### 4.3.3.3.1 Mapeo

El mapeo de la señal se realiza por medio del bloque “Look-Up Table” de la librería básica de Simulink.

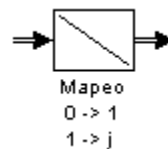


Figura 4.63 Mapeo

Descripción: El bloque “Look-Up Table”, asigna un valor de salida para cada valor de entrada.



Parámetros:

Vector de valores de entrada: Vector que especifica los posibles valores de entrada. Para la simulación este vector se fija en [0 1] que corresponde a los valores unipolares del código de Walsh de rotación.

- Vector de valores de salida: Vector que especifica los valores de salida para cada valor de entrada. Para la simulación este vector se fija en [1 j].

#### 4.3.4 Ensanchador complejo

Este bloque tiene una implementación similar a la del ensanchador complejo del enlace ascendente (Ver figura 4.13). La única diferencia se presenta en la implementación del generador de secuencias PN en fase y en cuadratura.

##### 4.3.4.1 Generador de secuencias PN en fase y en cuadratura.

En este bloque se generan las secuencias pseudoaleatorias de acuerdo a lo especificado en 3.1.3.1.16 del estándar TIA/EIA IS-2000.2-c. Su implementación es la siguiente:

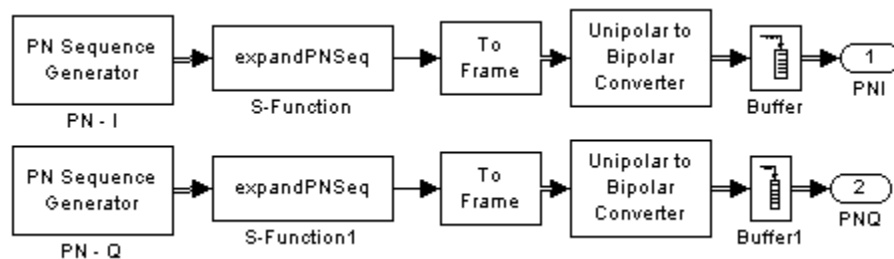


Figura 4.64 Generador de secuencias PN en fase y en cuadratura del enlace descendente

La descripción de cada uno de estos bloques y sus parámetros es idéntica a la realizada para los bloques del generador de secuencias PN en fase y en cuadratura del enlace ascendente.

#### 4.3.5 Filtro de banda base

La implementación del filtro de banda base es idéntica a la realizada para el filtraje de banda base del enlace ascendente en modo transmisión.

#### 4.4 ENLACE DESCENDENTE MODO RECEPCIÓN

El enlace descendente modo recepción comprende los procesos de filtraje de banda base, recepción, desensanchamiento cuasi-ortogonal, descrambling de datos y decodificación, realizados en el receptor de la estación móvil. (Ver figura 4.22).

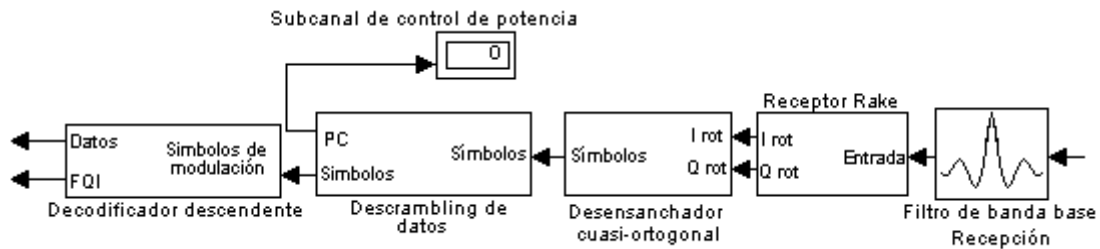


Figura 4.65 Enlace descendente modo recepción

##### 4.4.1 Filtro de banda base

La implementación del filtraje de banda base es idéntica a la realizada para el filtraje de banda base del enlace ascendente modo recepción.

##### 4.4.2 Receptor Rake

Este bloque realiza el proceso de recepción multitrayectoria basado en el mismo principio utilizado por el receptor del enlace ascendente en modo recepción.

Descripción: La implementación interna de este bloque es similar a la realizada para el enlace ascendente en modo recepción. La única diferencia se presenta en la implementación interna de las ramas del receptor en las que la configuración del generador de secuencias PN en fase y en cuadratura cambian.

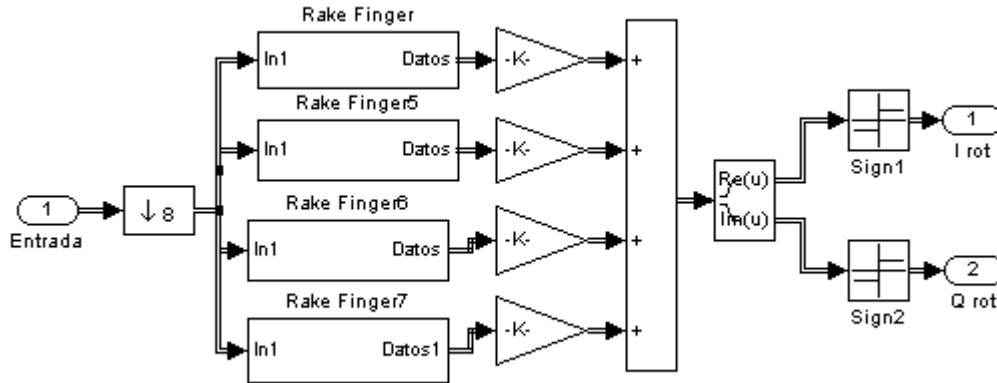


Figura 4.66 Implementación interna del receptor Rake del enlace descendente

#### 4.4.2.1 Ramas del receptor Rake (Rake finger)

La implementación interna de una rama del receptor Rake es la siguiente. Como se menciona, la única diferencia se presenta en la implementación del Generador de secuencias en fase y en cuadratura.

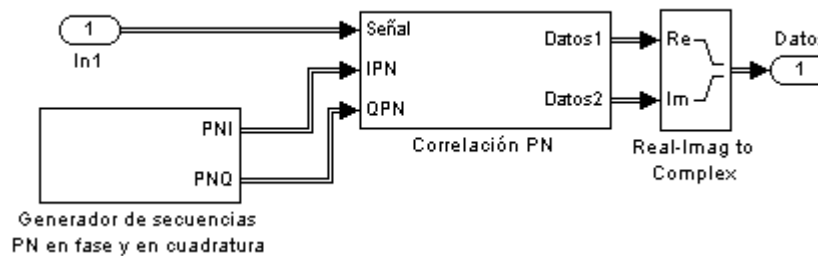


Figura 4.67 Implementación de la rama del Receptor RAKE

##### 4.4.2.1.1 Generador de secuencias PN en fase y cuadratura

La implementación interna de este bloque es idéntica a la descrita para el ensanchador complejo del enlace descendente en modo transmisión (Ver figura 4.64)

#### 4.4.3 Desensanchador cuasi-ortogonal

Este bloque se encarga de recuperar la señal que se ensancha cuasi-ortogonalmente en el ensanchador ortogonal del enlace descendente en modo transmisión.

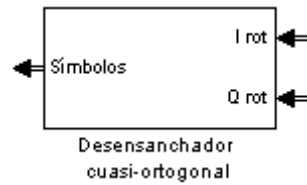


Figura 4.68 Desensanchador cuasi-ortogonal

Descripción: El proceso de desensanchamiento ortogonal se realiza por medio de la siguiente implementación interna:

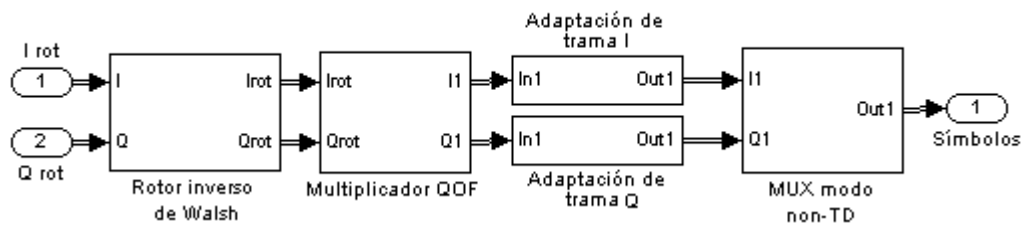


Figura 4.69 Implementación interna del desensanchador cuasi-ortogonal.

#### 4.4.3.1 Rotor inverso de Walsh

Este bloque realiza la rotación inversa de Walsh mediante el mismo procedimiento utilizado en el rotor de Walsh.

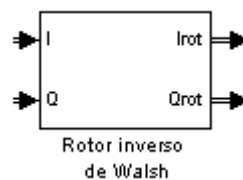


Figura 4.70 Rotor inverso de Walsh

Descripción: La rotación inversa de Walsh se realiza por medio de la siguiente implementación interna.

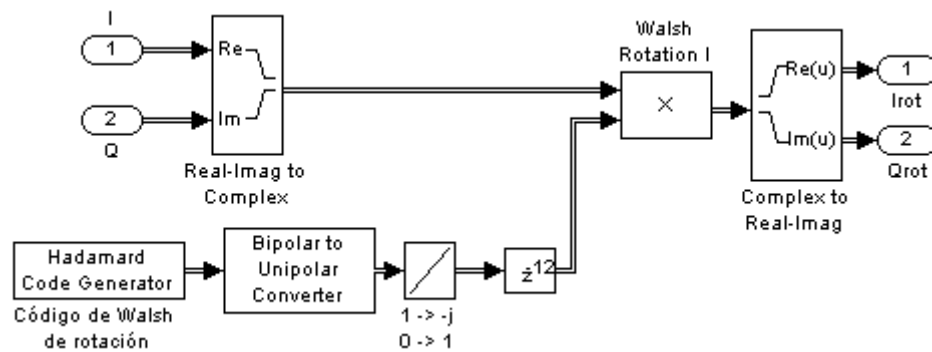


Figura 4.71 Implementación interna del rotor

La implementación interna del rotor inverso de Walsh es similar a la realizada para el rotor de Walsh. Sin embargo el mapeo de los bits del código de Walsh de rotación es diferente. El patrón es el siguiente:

- Si el bit del código de Walsh de rotación es '0' no hay rotación inversa ( $I_{rot} = I$ ,  $Q_{rot} = Q$ ).
- Si el bit del código de Walsh de rotación es '1' hay rotación inversa ( $I_{rot} = -jI$ ,  $Q_{rot} = -jQ$ )

#### 4.4.3.2 Multiplicador QOF

Este bloque sigue el mismo procedimiento del multiplicador QOF del enlace descendente en modo transmisión con la finalidad de invertir dicho proceso.

Descripción: La implementación interna de este bloque es muy similar a la del multiplicador QOF del enlace descendente en modo transmisión. La única diferencia es la agregación de un retardo de 12 muestras para tener en cuenta el desfase introducido por el filtraje de banda base.

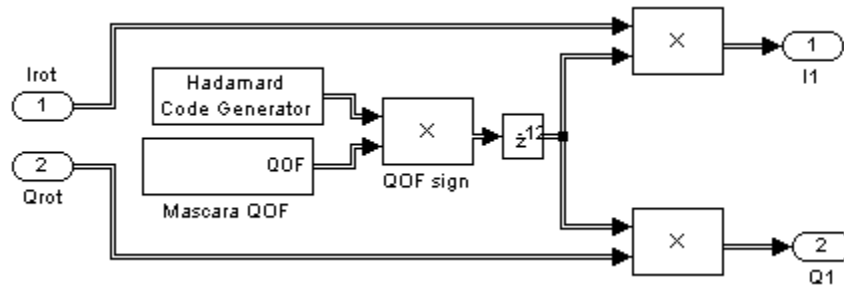


Figura 4.72 Implementación interna del Multiplicador QOF del enlace descendente en modo recepción.

#### 4.4.3.3 Multiplexor modo non- TD

Este bloque multiplexa los flujos en fase y en cuadratura en un solo flujo de bits. Esto se hace para invertir el proceso realizado por el Demultiplexor modo non- TD.

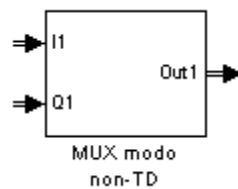


Figura 4.73 Multiplexor modo non- TD

Descripción : La implementación interna de este bloque se muestra a continuación.

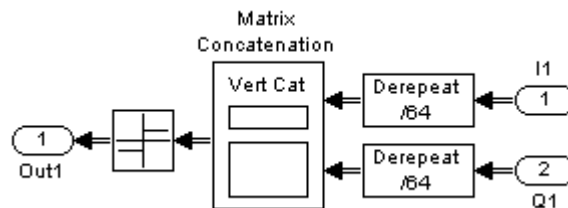


Figura 4.74 Implementación interna del multiplexor modo non- TD

Este bloque elimina los símbolos repetidos introducidos en el proceso de multiplexación del enlace descendente en modo transmisión y finalmente forma un solo flujo de bits a partir de bloque de concatenación de matrices.

#### 4.4.3.3.1 Concatenación de Matrices

Este bloque pertenece a la librería básica de Simulink y realiza un proceso de concatenación.

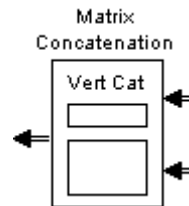


Figura 4.75 Concatenación de matrices.

Descripción: Este bloque realiza una concatenación horizontal o vertical de las matrices de entrada. Los vectores de una dimensión son tratados como columnas o filas.

Parámetros:

- Número de entradas: Este parámetro especifica el número de matrices a concatenar. Para la simulación este valor se fija en dos. Esto debido a que los flujos de entrada son dos vectores I y Q.
- Método de concatenación: Este parámetro especifica la dimensión en la cual se realizará la concatenación. Para la simulación se fija en vertical ya que los vectores de entrada son unidimensionales y se tratan como columnas.

#### 4.4.4 Descrambling de datos

Este bloque realiza el proceso inverso al que tiene lugar en el bloque scrambling de datos del enlace descendente en modo transmisión y extrae los bits de control de potencia del subcanal de control de potencia.



Figura 4.76 Descrambling de datos

Descripción: La implementación interna de este bloque se muestra a continuación:

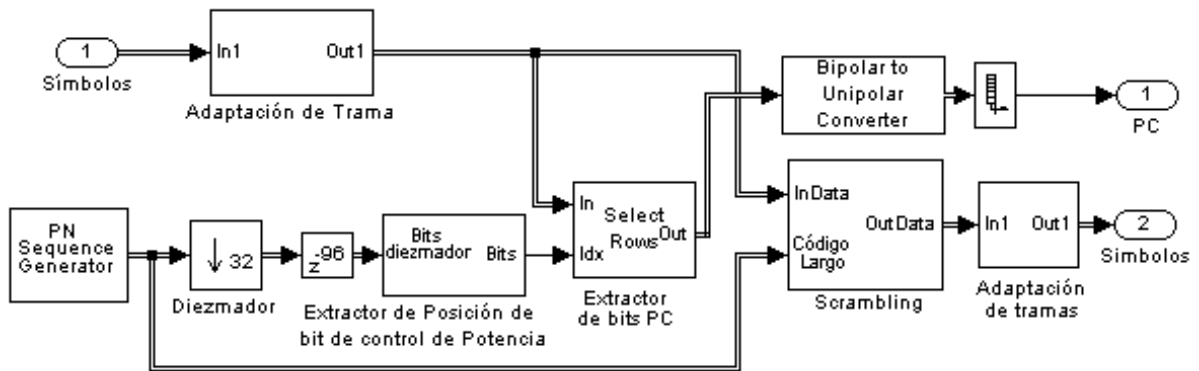


Figura 4.77 Implementación interna del bloque de descrambling de datos

Para realizar el proceso de descrambling se siguen los siguientes pasos:

- Extracción de los bits de control de potencia.
- Descrambling de código largo.

#### 4.4.4.1 Extracción de bits de control de potencia

Los bits de control de potencia se extraen mediante la siguiente implementación:

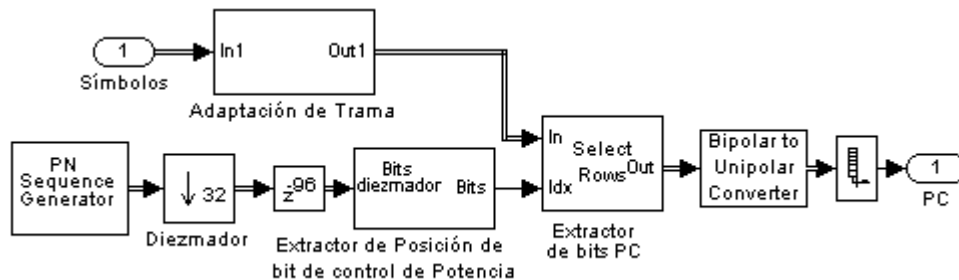


Figura 4.78 Extractor de bits de control de potencia

Los bits provenientes del desensanchador cuasi-ortogonal se adaptan y se introducen al bloque “Extractor de bits PC” el cual utiliza la posición de los bits de control de potencia (calculada a partir del código largo de la misma forma que para el scrambling de datos del modo transmisión). Finalmente los bits recuperados se convierten a una señal unipolar.



#### 4.4.4.1.1 Extractor de bits PC

Este bloque se implementa utilizando el bloque “Variable selector” del Blockset de DSP.

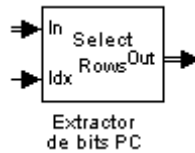


Figura 4.79 Extractor de bits PC

Descripción: Este bloque selecciona y/o reordena las filas o columnas de entrada de acuerdo al vector de índices.

Parámetros:

- “Select”: Este parámetro especifica si la selección se hará sobre las filas o las columnas de entrada. Para la simulación este parámetro se fija en filas.
- “Selector mode”: Este parámetro determina si el bloque utilizará los mismos índices para todas las entradas (Modo fijo) o utiliza diferentes índices para cada entrada (Modo variable). Para la simulación este parámetro se fija en modo variable, ya que los índices varían de acuerdo al valor de los bits extraídos del código largo.

#### 4.4.4.2 Descrambling de código largo

El descrambling de código largo se realiza por medio de la siguiente implementación:

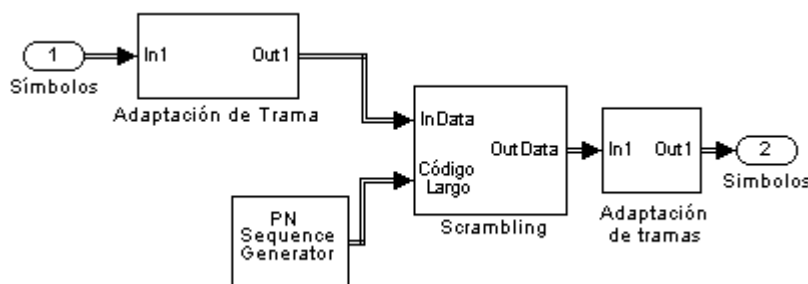


Figura 4.80 Descrambling de código largo

Para revertir el proceso de scrambling de código largo se aplica el mismo procedimiento, el cual se describe en el scrambling de datos del modo transmisión.

#### 4.4.5 Decodificador Descendente

La implementación interna del decodificador descendente es idéntica a la realizada para el decodificador ascendente. Sin embargo algunos de los parámetros de los bloques internos son diferentes. Los bloques que tienen diferencias son los siguientes:

##### 4.4.5.1 Desentrelazador

La implementación del desentrelazador es idéntica a la descrita para el bloque homólogo del enlace ascendente, sin embargo los parámetros utilizados difieren ya que el proceso de entrelazado de los dos enlaces es diferente.



*Figura 4.81 Desentrelazador del enlace descendente*

Parámetros:

- Elementos: Para la simulación se utiliza la función "interleavertable\_ds.m" que es idéntica a la utilizada en el entrelazador del codificador descendente.

##### 4.4.5.2 Derepeater

Este bloque tiene la misma descripción del bloque derepeater del codificador del enlace ascendente. Sin embargo el parámetro del factor de repetición cambia.



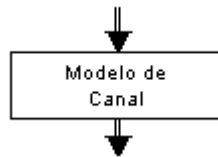
*Figura 4.82 Derepeater del decodificador del enlace descendente*

Parámetros:

- Factor de eliminación: Para la simulación se fija en '1'.

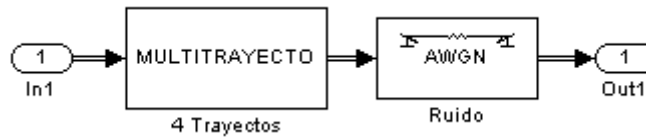
#### 4.5 MODELO DE CANAL

Este bloque introduce los efectos de la multitrayectoria y del ruido AWGN.



*Figura 4.83 Modelo de canal*

Descripción: La implementación interna de este bloque se muestra a continuación.



*Figura 4.84 Implementación interna del Modelo de canal.*

##### 4.5.1 Multitrayecto

Este bloque introduce el efecto de la multitrayectoria.



*Figura 4.85. Multitrayecto*

Descripción: Este bloque utiliza cuatro trayectos para introducir el efecto de la multitrayectoria. Su implementación interna es la siguiente:

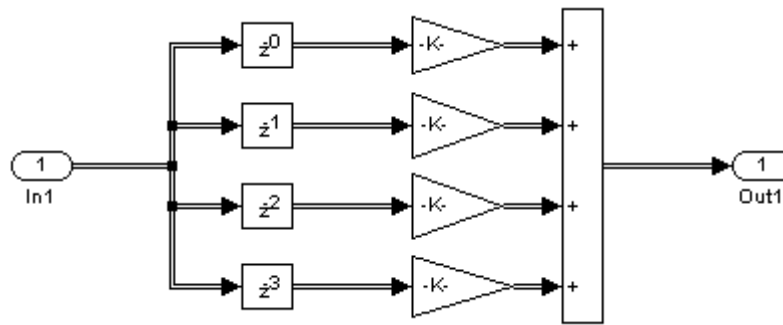


Figura 4.86 Implementación interna del Bloque de Multitrayecto.

La señal se distribuye en cuatro trayectorias con diferente retardo y ganancia.

Parámetros:

- Vector de fases: Este parámetro determina las fases de cada trayectoria. Para la simulación este parámetro puede variarse, por defecto se fija el vector en: [0 1 2 3].
- Vector de ganancias: Este parámetro determina la atenuación de cada trayectoria. Para la simulación este parámetro puede variarse. Por defecto se fija el vector en [1/4 1/4 1/4 1/4].

#### 4.5.2 Ruido

El ruido se implementa por medio del bloque “AWGN channel” del Blockset de Comunicaciones.



Figura 4.87 Ruido.

Descripción: Este bloque introduce los efectos del ruido AWGN adicionándolo a la señal de entrada.

Parámetros:

- Modo: Este parámetro determina el modo en el cual el bloque trabajará. Tiene dos modos principales de operación: relación de energía de símbolo a densidad de

espectral de ruido ( $E_s/N_0$ ) y la relación de potencia de la señal a potencia de ruido (SNR). Para la simulación se fija este parámetro en “Es/No” debido a la naturaleza digital de las señales.

- Es/No: Este parámetro aparece cuando se habilita el modo “Es/No” y se utiliza para fijar el valor de la relación Es/No que se desea en dB. Para la simulación el valor por defecto es de  $-3$  dB.
- Potencia de la señal de entrada: Parámetro que permite definir la potencia en vatios de la señal de entrada. Para la simulación este parámetro se fija en:  $0,3$  W para el enlace descendente y en  $0,025$  W para el enlace ascendente (Valores típicos).
- Periodo de símbolo: Este parámetro aparece cuando se habilita el modo “Es/No” y se utiliza para definir el periodo de los bits de la señal de entrada. Para la simulación se fija en  $1/1,2288e6$  segundos.

#### **4.6 DIAGRAMA DE IMPLEMENTACIÓN DEL ENLACE MÓVIL – ESTACIÓN BASE - MÓVIL**

La figura 4.88 muestra el diagrama de implementación del enlace móvil – estación base – móvil obtenido a partir de los modelos de implementación descritos en el presente capítulo.

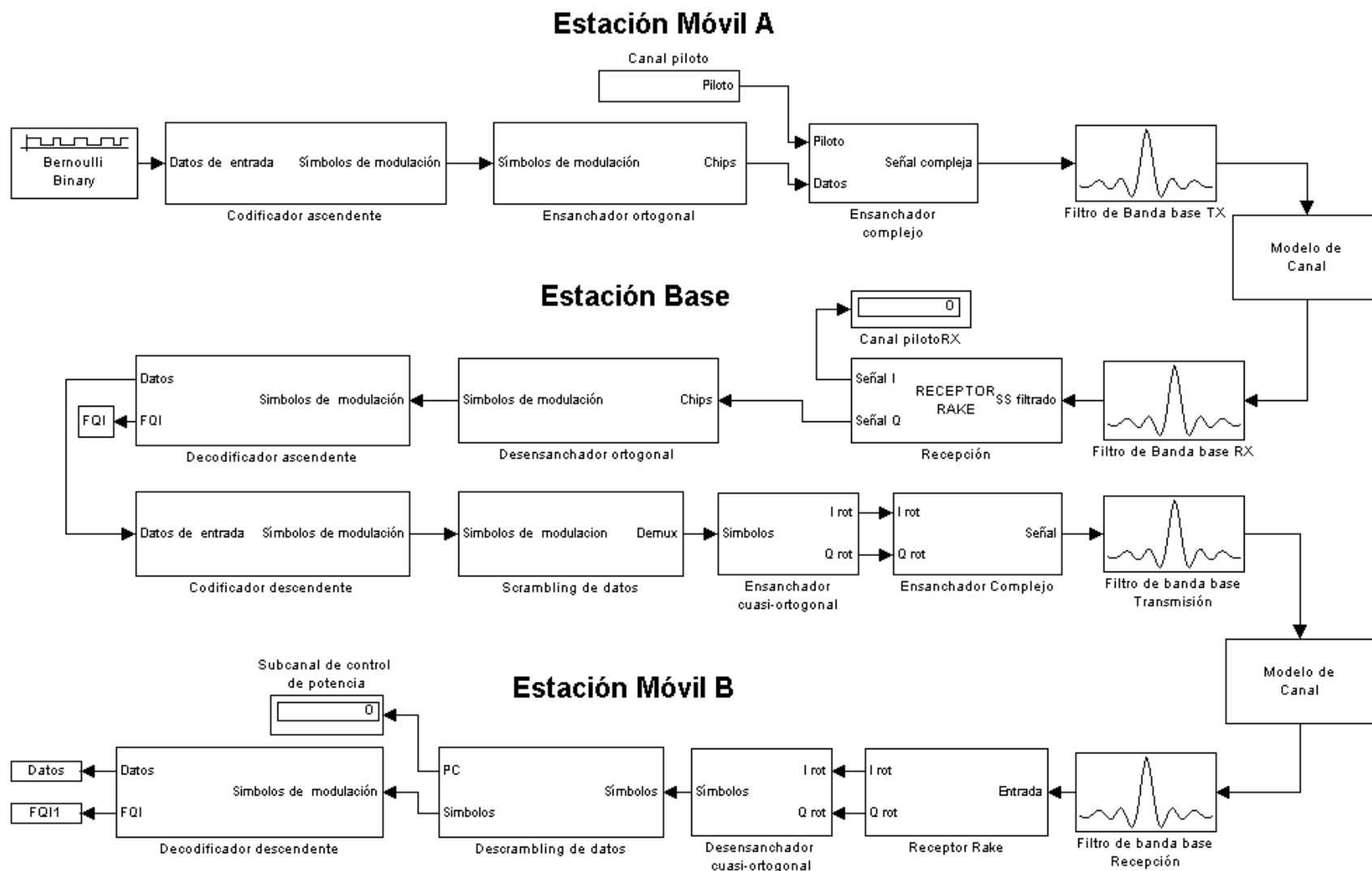


Figura 4.88 Enlace Móvil – Estación Base - Móvil

## 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1 CONCLUSIONES

- La simulación es una herramienta ideal para el estudio, análisis y comprensión del funcionamiento interno de sistemas complejos de telecomunicaciones ante la imposibilidad de construirlos o adquirirlos. Permite además la realización de estudios y pruebas con flexibilidad en el manejo del tiempo, sin que sea necesario interrumpir el funcionamiento del sistema real ni consumir sus recursos.
- Matlab® y su herramienta Simulink constituyen una potente herramienta para modelar, simular y analizar todo tipo de sistemas. En lo referente al área de las telecomunicaciones, Matlab proporciona una amplia gama de funcionalidades, librerías y conjuntos de bloques (DSP, Comunicaciones, CDMA, etc.) para desarrollar aplicaciones específicas de sistemas de comunicaciones básicos y avanzados.
- La aplicación de una metodología de simulación es importante porque permite definir de forma clara los objetivos y alcances de un proyecto de simulación, requisitos indispensables para el desarrollo de modelos adecuados que conduzcan a la obtención de resultados esperados.
- La metodología de simulación de equipos de telecomunicaciones es adecuada para el modelamiento de sistemas de comunicaciones porque permite manejar la complejidad del sistema a través de la definición de modelos basados en bloques funcionales (objetos) fácilmente adaptables a entornos de simulación como Simulink.

- El desarrollo de simulaciones de este tipo permiten la aplicación y complemento de los conocimientos adquiridos en las materias de pregrado del programa de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones tales como teoría de telecomunicaciones I y II, sistemas de telecomunicaciones, sistemas de radiocomunicaciones móviles e inalámbricas, etc.
- El desarrollo de esta simulación permite tener un mayor acercamiento hacia el funcionamiento real de un sistema de comunicación celular avanzado que actualmente esta siendo desplegado y utilizado en el país.
- Actualmente hay un creciente interés en el desarrollo de simulaciones de los sistemas de comunicaciones móviles inalámbricos de próxima generación, que se ve reflejado en el gran número de proyectos y trabajos desarrollados por diferentes grupos de investigación a nivel internacional y nacional.

## **5.2 RECOMENDACIONES**

- Profundizar en el desarrollo de diferentes tópicos, que debido a su complejidad, no fueron considerados en este proyecto, tales como: el manejo y desempeño del control de potencia, el estudio de la capacidad del sistema en entornos multiusuario, modelos de canal más reales que consideren el desvanecimiento debido a la movilidad, recepción coherente, sincronismo del sistema, diversidad de transmisión, transmisión de datos y otros canales, etc.
- Profundizar en la tecnología cdma2000 con proyectos que permitan conocer el funcionamiento y desempeño de otras radio configuraciones y de niveles superiores especificados en la familia de estándares TIA/EIA IS-2000.
- Desarrollar bancos de simulaciones de otras tecnologías inalámbricas tales como WCDMA, GSM, WiFi, WLAN, WPAN, etc. Que permitan un estudio y análisis profundo del comportamiento y funcionamiento de estos sistemas.



- Introducir este tipo de simulaciones para soportar y reforzar los procesos de aprendizaje en las diferentes materias de pregrado relacionadas con los sistemas de comunicaciones, tales como teoría de telecomunicaciones I y II, sistemas de telecomunicaciones, laboratorios de sistemas de telecomunicaciones, etc.
  
- Explorar otras herramientas de simulación como SPW y SystemView que incluyen librerías con una completa funcionalidad para la simulación de los sistemas de comunicaciones inalámbricos mas utilizados.

## BIBLIOGRAFIA

GLISIC, Savo G and VUCETIC, Branka. Spread Spectrum CDMA systems for wireless communications. Artech House. Boston, 1997

MUÑOZ, Carlos y MUÑOZ, José. Metodología para la Simulación de Equipos de Telecomunicaciones. Tesis FIET. Popayán, 1995.

SILVA MARTINEZ, Carlos Eduardo y DELGADO RIVAS, Helver Raphael. Técnicas de espectro ensanchado aplicadas en sistemas de acceso múltiple por división de código (CDMA). TFIET 559. Popayán, 1998

TIA/EIA/IS-2000.2-C, Physical Layer Standard for cdma2000 Spread Spectrum Systems. Release C. Telecommunications Industry Association, Mayo 2002.

TIA/EIA IS-2000.5-C, Upper Layer (Layer 3) Signaling Standard for cdma2000 Spread Spectrum Systems. Telecommunications Industry Association, Mayo 2002.

An Overview of CDMA Evolution toward Wideband CDMA / Ramjee Prasad, Tero Ojanperä. [Documento en Internet]. En: <http://www.comsoc.org/livepubs/surveys/public/4q98issue/prasad.html>

CDMA2000 REVERSE-LINK SIMULATION MODEL DESIGN AND EVALUATION / H. Gharavi; R. Wyatt and F. Chin. NIST [Documento en Internet]. En: <http://w3.antd.nist.gov/pubs/gharavicdma2000.pdf>

FORWARD LINK SIMULATION OF A MULTIUSER CDMA2000 SYSTEM / Yun Lin [Documento en Internet]. En: <http://www.ece.utexas.edu/~jandrews/ee381k/yunlin.pdf>

Protocolos de comunicación de datos. Nivel de enlace. / Antoni Salavert [Documento en Internet]. En: [http://personals.ac.upc.es/asalaver/cbxc\\_enlace.pdf](http://personals.ac.upc.es/asalaver/cbxc_enlace.pdf)

Reducción de la probabilidad de error en transmisión mediante la utilización de codificación convolucional y decodificación de Viterbi / Álvaro Campuzano Zubeldia, Iker Varela Cuadrado [Documento en Internet]. En: <http://www.tecnun.es/Asignaturas/transdat/ficheros%5Cviterbi.pdf>

REPORT ON Design, Model Implementation, and Evaluations of the cdma2000 Reverse-link / H. Gharavi; R. Wyatt and F. Chin. NIST [Documento en Internet]. En: <http://w3.antd.nist.gov/pubs/gharavicdma2000-report.pdf>

Simulation of Tirad Generation CDMA Systems / Fakhrul Alam [Documento en Internet]. En: [http://scholar.lib.vt.edu/theses/available/etd-122199-153028/unrestricted/fakhrul\\_thesis.pdf](http://scholar.lib.vt.edu/theses/available/etd-122199-153028/unrestricted/fakhrul_thesis.pdf)

Spread Spectrum Coding [Documento en Internet]. En: [http://www.labyrinth.net.au/~steve/papers/ss\\_coding.pdf](http://www.labyrinth.net.au/~steve/papers/ss_coding.pdf)

Spread Spectrum Concepts [Documento en Internet]. En: <http://www.labyrinth.net.au/~steve/papers/concepts.pdf>

The cdma2000 ITU-R RTT Candidate Submission (0.18) / Steve Dennett [Documento en Internet]. En: [http://www.tiaonline.org/standards/sfg/imt2k/TR455\\_RTT\\_V18.pdf](http://www.tiaonline.org/standards/sfg/imt2k/TR455_RTT_V18.pdf)

Página Web del Grupo de Desarrollo de CDMA (CDG, CDMA Development Group) <http://www.cdg.org>

Página Web de la Comunidad y Recursos de Entrenamiento para los Profesionales de CDMA. <http://www.cdmaonline.com>

Página Web de Mathworks (Matlab®) <http://www.mathworks.com>

Página Web de la Asociación de la Industria de las Telecomunicaciones (TIA, Telecommunications Industry Association) <http://www.tiaonline.org>

Página Web del Escenario de Espectro Ensanchado (SSS, Spread Spectrum Scene ) <http://www.sss-mag.com>