

SIMULACIÓN Y ANALISIS DE DESEMPEÑO DEL NIVEL FISICO DE WCDMA EN MODO FDD



DIANA CAROLINA URBANO BURITICA

DOUGLAS JULIAN DIAZ PARRA

Universidad del Cauca
Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones
Departamento de Telecomunicaciones
Popayán
2007

SIMULACIÓN Y ANALISIS DE DESEMPEÑO DEL NIVEL FISICO DE WCDMA EN MODO FDD



**DIANA CAROLINA URBANO BURITICA
DOUGLAS JULIAN DIAZ PARRA**

**Documento final de trabajo 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 Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones
Departamento de Telecomunicaciones
Popayán
2007

TABLA DE CONTENIDO

LISTA DE TABLAS	i
LISTA DE FIGURAS	ii
ACRONIMOS	iv
GLOSARIO	viii
INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO 1. ASPECTOS GENERALES DE WCDMA	3
1.1 INTRODUCCIÓN	3
1.1.1 Arquitectura del sistema	7
1.2 DESCRIPCION DEL NIVEL FISICO	10
1.2.1 RELACIÓN DEL NIVEL FÍSICO CON OTROS NIVELES	10
1.2.2 Servicios que el nivel físico provee a niveles superiores.	10
1.2.3 Relación entre las funciones del nivel físico.	11
1.2.4 Canales físicos y mapeo de los canales de transporte en canales físicos	12
1.2.4.1 Canal dedicado de transporte	13
1.2.4.2 Canales comunes de transporte	13
1.2.5 Canales físicos en el DL	14
1.2.5.1 Canales físicos dedicados en el DL	14
1.2.6 Procesamiento de la señal a nivel físico en el DL.	17
1.2.6.1 Multiplexación, codificación del canal e intercalamiento	17
1.2.6.1.1 Codificación/multiplexación general de los canales de transporte.	18
1.2.6.1.2 Adición del CRC	18
1.2.6.1.3 Concatenación del bloque de transporte y segmentación del bloque de código	20
1.2.6.1.4 Codificación del canal	21
1.2.6.1.5 Correspondencia de velocidades de transmisión (Rate Matching)	24
1.2.6.1.6 Primera inserción de los bits de indicación de Transmisiones Discontinuas (DTX)	24
1.2.6.1.7 Primera operación de intercalamiento	24
1.2.6.1.8 Segmentación de la trama radio	26
1.2.6.1.9 Multiplexación de los TrCH	26
1.2.6.1.10 Segunda inserción de los bits de indicación DTX	26
1.2.6.1.11 Segmentación física del canal	26
1.2.6.1.12 Segundo intercalamiento	27
1.2.6.1.13 Mapeo físico del canal	28
1.2.6.1.14 Multiplexación de diferentes canales de transporte en un CCTrCH, y mapeo de un CCTrCH en los canales físicos.	28
1.2.6.1.15 Detección del formato de transporte	29
1.2.6.2 Ensanchamiento y modulación en el Downlink	29
1.2.6.2.1 Codificación (Scrambling)	29
1.2.6.2.2 Códigos de Canalización	30
1.2.6.2.3 Modulación y Ensanchamiento	31
1.2.6.2.4 Generación y asignación de códigos	33
1.2.6.3 Canales Radio Multitrayecto y Recepción	35

CAPITULO 2. APLICACIÓN Y ADAPTACION DE LA METODOLOGIA DE SIMULACIÓN DE EQUIPOS DE TELECOMUNICACIONES A LA SIMULACIÓN DE WCDMA EN EL DL EN MODO FDD	40
2.1 INTRODUCCIÓN.....	40
2.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	40
2.2.1 Adquisición de información sobre el funcionamiento del sistema	40
2.2.1.1 Subsistema: estación base en modo transmisión.....	40
2.2.1.2 Subsistema: medio de transmisión	41
2.2.1.3 Subsistema: equipo de usuario en modo recepción.....	42
2.2.2 Fines de la simulación	43
2.2.3 Formulación de los objetivos de la simulación	43
2.3 RECOLECCION Y PROCESAMIENTO DE DATOS.....	43
2.3.1 Subsistema: estación base en modo transmisión	44
2.3.1.1 Identificación de clases y objetos.....	44
2.3.1.2 Identificación de sujetos	44
2.3.1.3 Identificación de estructuras	44
2.3.1.3.1 <i>Codificador y multiplexor</i>	44
2.3.1.3.2 <i>Mapeador del canal físico</i>	45
2.3.1.3.3 <i>Modulador y ensanchador</i>	45
2.3.1.4 Definición de atributos	46
2.3.1.4.1 <i>Atributos del codificador y multiplexor</i>	46
2.3.1.4.2 <i>Atributos del mapeador del canal físico</i>	46
2.3.1.4.3 <i>Atributos del modulador y ensanchador</i>	47
2.3.1.5 Definición de servicios	47
2.3.1.5.1 <i>Servicios del codificador multiplexor</i>	47
2.3.1.5.2 <i>Servicios del mapeador del canal físico</i>	48
2.3.1.5.3 <i>Servicios del modulador y ensanchador</i>	48
2.3.2 Subsistema: medio de transmisión	49
2.3.2.1 Identificación de clases y objetos.....	49
2.3.2.2 Identificación de estructuras	49
2.3.2.3 Identificación de sujetos	49
2.3.2.4 Definición de atributos	49
2.3.2.5 Definición de servicios	50
2.3.3 Subsistema: equipo de usuario en modo recepción.....	50
2.3.3.1 Identificación de clases y objetos.....	50
2.3.3.2 Identificación de estructuras	50
2.3.3.2.1 <i>Demodulador y desensanchador</i>	50
2.3.3.2.2 <i>Desmapeador del canal físico</i>	51
2.3.3.2.3 <i>Decodificador y demultiplexor</i>	52
2.3.3.3 Identificación de sujetos	52
2.3.3.4 Definición de atributos	52
2.3.3.4.1 <i>Atributos del demodulador y desensanchador</i>	52
2.3.3.4.2 <i>Atributos del desmapeador del canal físico</i>	53
2.3.3.4.3 <i>Atributos del decodificador y demultiplexor</i>	53
2.3.3.5 Definición de servicios	54
2.3.3.5.1 <i>Servicios del demodulador y desensanchador</i>	54
2.3.3.5.2 <i>Servicios del desmapeador del canal físico</i>	54
2.3.3.5.3 <i>Servicios del decodificador y demultiplexor</i>	55
2.4 FORMULACIÓN DEL MODELO DE SIMULACIÓN	55
2.4.1 Modelo de simulación: subsistema BS en modo transmisión.....	56

2.4.1.1	Codificador y multiplexor del canal.....	57
2.4.1.1.1	Calculador de CRC.....	58
2.4.1.1.2	Concatenador BT y Segmentador BC.....	59
2.4.1.1.3	Codificador del canal.....	60
2.4.1.1.4	Relacionador de velocidades.....	61
2.4.1.1.5	Primer Intercalador.....	62
2.4.1.1.6	Segmentador de la trama radio.....	63
2.4.1.2	Mapeador del canal Físico.....	64
2.4.1.2.1	Segmentador del canal físico.....	64
2.4.1.2.2	Segundo Intercalador.....	65
2.4.1.2.3	Constructor de los campos de la Trama.....	65
2.4.1.3	Modulador y Ensanchador.....	66
2.4.1.3.1	Modulador.....	66
2.4.1.3.2	Ensanchador.....	67
2.4.1.3.3	Codificador.....	67
2.4.1.3.4	Estimador de Potencia.....	68
2.4.1.3.5	Muestreador de pulsos.....	69
2.4.2	Modelo de simulación: subsistema Medio de Transmision.....	69
2.4.2.1	Desvanecimiento multitrayectoria.....	70
2.4.2.2	AWGN.....	70
2.4.3	Modelo de simulación: Subsistema UE en modo recepción.....	71
2.4.3.1	Demodulador y desensanchador.....	72
2.4.3.1.1	Filtro receptor.....	72
2.4.3.1.2	Receptor RAKE.....	73
2.4.3.1.3	Demodulador.....	74
2.4.3.1.4	Reconstructor de los campos de la Trama.....	75
2.4.3.2	Desmapeador de los canales físicos.....	75
2.4.3.2.1	Divisor de los campos de la Trama.....	76
2.4.3.2.2	Segundo Desintercalador.....	76
2.4.3.2.3	Concatenador del canal físico.....	77
2.4.3.3	Decodificador y Demultiplexador.....	77
2.4.3.3.1	Concatenador de la trama radio.....	78
2.4.3.3.2	Primer desintercalador.....	79
2.4.3.3.3	Relacionador inverso de velocidades.....	79
2.4.3.3.4	Decodificador del canal.....	80
2.4.3.3.5	Concatenador del BC y Segmentador del BT.....	81
2.4.3.3.6	Detector de error.....	82
2.5	EVALUACIÓN DEL MODELO.....	83
2.5.1	Chequeo de variables.....	83
2.5.2	Complejidad resultante de cada objeto (proceso).....	83
2.5.3	Evaluación de objetivos.....	83
2.5.4	Complejidad del proyecto.....	83
CAPITULO 3. EXPERIMENTOS REALIZADOS Y ANALISIS E INTERPRETACION DE RESULTADOS OBTENIDOS.....		85
3.1	INTRODUCCIÓN.....	85
3.2	IDENTIFICACION, DESCRIPCION Y RESULTADOS DE LOS EXPERIMENTOS.....	85
3.2.1	Primer experimento: análisis cualitativo de la técnica de multicanalización DSSS y Receptor Rake.....	85
3.2.1.1	Descripción.....	85

3.2.1.2	Resultados.....	86
3.2.1.2.1	<i>Señal en el dominio de la frecuencia</i>	88
3.2.1.2.2	<i>Constelaciones</i>	89
3.2.2	Segundo experimento: variación de velocidades de transmisión de datos contra variación de AWGN.....	92
3.2.2.1	Variables.....	92
3.2.2.2	Descripción.....	92
3.2.2.3	Resultados.....	93
3.2.3	Tercer experimento: variación de velocidades de transmisión contra variación de perfiles de desvanecimiento multitrayecto.....	97
3.2.3.1	Variables.....	97
3.2.3.2	Descripción.....	97
3.2.3.3	Resultados.....	98
3.2.3.3.1	<i>Caso sin Canal</i>	98
3.2.3.3.2	<i>Caso AWGN estático</i>	99
3.2.3.3.3	<i>Caso 1</i>	99
3.2.3.3.4	<i>Caso 2</i>	100
3.2.3.3.5	<i>Caso 3</i>	101
3.2.3.3.6	<i>Caso 6</i>	102
3.2.4	Cuarto experimento: Variación del tipo de modulación aplicado a la señal. ...	103
3.2.4.1	Variables.....	103
3.2.4.2	Descripción.....	104
3.2.4.3	Resultados.....	105
3.2.5	Quinto Experimento: Codificación Turbo.	107
3.2.5.1	Variables.....	107
3.2.5.2	Descripción.....	107
3.2.5.3	Resultados.....	108
CAPITULO 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		110
4.1	CONCLUSIONES	110
4.2	RECOMENDACIONES.....	112
REFERENCIAS.....		113

LIBRO DE ANEXOS ADJUNTO

ANEXO A. DESCRIPCIONES MATEMATICAS Y EJEMPLOS DE ALGUNOS PROCESOS DEL NIVEL FISICO DE WCDMA EN EL DL

ANEXO B. IMPLEMENTACION DE LA SIMULACION DE UN ENLACE DE TRÁFICO DE VOZ UNIDIRECCIONAL ESTACIÓN BASE- MÓVIL A 12,2 kbps A NIVEL FISICO DEL SISTEMA WCDMA OPERANDO EN EL MODO FDD

ANEXO C. ESTANDARIZACION Y MEJORAS A NIVEL FISICO INTRODUCIDAS POR HSDPA Y HSUPA AL RELEASE 99 WCDMA

LISTA DE TABLAS

CAPITULO 1

Tabla 1.1	Especificaciones del 3GPP.....	6
Tabla 1.2	Formatos de Ranura para el modo Normal	16
Tabla 1.3	Utilización del esquema de codificación del canal y velocidad de codificación	21
Tabla 1.4	Patrones de conmutación de columnas para el primer intercalamiento	25
Tabla 1.5	Patrón de permutación de columnas para el segundo intercalamiento	28

CAPITULO 2

Tabla 2.1	Tipos de codificación.....	60
-----------	----------------------------	----

CAPITULO 3

Tabla 3.1	Desempeño del canal estático en el DL	92
Tabla 3.2	Valores de la relación E_b/N_0 y BER para las velocidades de transmisión de 12.2Kbps, 64Kbps, 144Kbps y 384Kbps	93
Tabla 3.3	Perfiles de desvanecimiento multitrayecto definidos por 3GPP.....	96
Tabla 3.4	E_b/N_0 referencia para diferentes condiciones de propagación	97
Tabla 3.5	BLER y BER para caso AWGN estático	98
Tabla 3.6	BLER y BER para caso 1.....	98
Tabla 3.7	BLER y BER para caso 2.....	99
Tabla 3.8	BLER y BER para caso 3.....	100
Tabla 3.9	BLER y BER para caso 6.....	101
Tabla 3.10	Mapeo de los bits en la modulación 16QAM.....	103

LISTA DE FIGURAS

CAPITULO 1

Figura 1.1	Elementos de red de WCDMA.....	8
Figura 1.2	Arquitectura de protocolos de la interfaz radio	10
Figura 1.3	Relaciones de las funciones por especificación (modo FDD).....	11
Figura 1.4	Interfaz entre los niveles superiores y el nivel físico	12
Figura 1.5	Mapeo de los canales de Transporte en los canales Físicos	14
Figura 1.6	Estructura de la trama para el DPCH DL.....	15
Figura 1.7	Formatos de ranuras para el caso de transmisión multicódigo	17
Figura 1.8	Estructura de multiplexación del canal de Transporte para el DL.....	19
Figura 1.9	Codificadores convolucionales de velocidad 1/2 y 1/3.....	22
Figura 1.10	Esquema del codificador Turbo utilizado en WCDMA.....	23
Figura 1.11	Relación entre ensanchamiento y codificación	29
Figura 1.12	Árbol de códigos de canalización	30
Figura 1.13	Ensanchamiento para todos los canales físicos excepto SCH.....	31
Figura 1.14	Modulación QPSK.....	31
Figura 1.15	Combinación de los canales físicos del DL	32
Figura 1.16	Perfil de retardo multitrayecto.....	35
Figura 1.17	Desvanecimiento rápido de Rayleigh causado por la propagación multitrayecto.....	36
Figura 1.18	Principio de combinación de relación máxima en el receptor Rake	37
Figura 1.19	Diagrama de bloques del receptor Rake.....	38

CAPITULO 2

Figura 2.1	Estructura Whole-part aplicada al codificador y multiplexor.....	43
Figura 2.2	Estructura Whole-part aplicada al mapeador del canal físico	44
Figura 2.3	Estructura Whole-part aplicada al Modulador y Ensanchador	44
Figura 2.4	Estructura Whole-part aplicada al Medio de Tx.....	48
Figura 2.5	Estructura Whole-part aplicada al demodulador y desensanchador	50
Figura 2.6	Estructura Whole-part aplicada al desmapeador del canal físico	50
Figura 2.7	Estructura Whole-part aplicada al Decodificador y Demultiplexor.....	51
Figura 2.8	Estructura general del sistema	55
Figura 2.9	Estructura del subsistema BS en modo transmisión	55
Figura 2.10	Estructura interna del bloque codificador y multiplexor del canal de transmisión	55
Figura 2.11	Estructura interna del bloque mapeador de los canales físicos.....	56
Figura 2.12	Estructura interna del bloque modulador y ensanchador	56

Figura 2.13	Registro de cambio para la implementación del CRC de ocho bits	58
Figura 2.14	Estructura interna del subsistema medio de transmisión	68
Figura 2.15	Funcionamiento del bloque AWGN	70
Figura 2.16	Estructura del subsistema UE en modo Recepción.....	70
Figura 2.17	Estructura interna del bloque demodulador y desensanchador.....	70
Figura 2.18	Estructura interna del bloque desmapeador de los canales físicos	70
Figura 2.19	Estructura interna del bloque decodificador y demultiplexador	71
Figura 2.20	Esquema de un dedo RAKE.....	72
Figura 2.21	Esquema de la estrategia de combinación mas simple.....	73

CAPITULO 3

Figura 3.1	Parte real de las señales en el dominio del tiempo	85
Figura 3.2	Parte imaginaria de las señales en el dominio del tiempo	86
Figura 3.3	Espectro de la señal de banda estrecha a ser transmitida	87
Figura 3.4	Espectro de la señal ensanchada (antes del muestreador de pulsos).....	87
Figura 3.5	Espectro de la señal de banda limitada a 5MHz a ser transmitida.....	87
Figura 3.6	Espectro de la señal de banda limitada a 5MHz recibida.....	88
Figura 3.7	Constelación de la señal Transmitida por la Estación Base	89
Figura 3.8	Constelación de la señal recibida a la entrada del receptor Rake	89
Figura 3.9	Constelación de la señal a la salida del rotador en el receptor Rake	89
Figura 3.10	Constelación de la señal a la salida del combinador en el receptor Rake	89
Figura 3.11	Espectro de frecuencia de la señal recibida y constelación de la señal en recepción para una relación E_b/N_0 baja.	90
Figura 3.12	Espectro de frecuencia de la señal recibida y constelación de la señal en recepción para una relación E_b/N_0 alta.....	90
Figura 3.13	E_b/N_0 contra BER para 12.2 Kbps	94
Figura 3.14	E_b/N_0 contra BER para 64 Kbps	94
Figura 3.15	E_b/N_0 contra BER para 144 Kbps	95
Figura 3.16	E_b/N_0 contra BER para 384 Kbps	95
Figura 3.17	Trayectos para el caso 1	99
Figura 3.18	Trayectos para el caso 2.....	100
Figura 3.19	Trayectos para el caso 3.....	100
Figura 3.20	Trayectos para el caso 6.....	101
Figura 3.21	Constelación de la modulación 16 QAM	104
Figura 3.22	Constelación de la señal a transmitir	105
Figura 3.23	Constelación de la señal recibida después del dedo Rake.....	105
Figura 3.24	Constelación de la señal después del rotador	106
Figura 3.25	Constelación de la señal a la salida del combinador (Después del combinador).....	106
Figura 3.26	Codificación Convolutiva vs codificación Turbo	108

ACRONIMOS

1G	1st Generation, 1ra Generación
1XEV-DO	Evolution Data Only, Evolución de Datos
1XEV-DV	Evolution Data and Voice, Evolución de Datos y Voz
2G	2nd Generation, 2da Generación
3G	3rd Generation, 3ra Generación
3GPP	3rd Generation partnership Project, Proyecto de Cooperación Tercera Generación
AICH	Acquisition Indicator Channel, Canal Indicador de Adquisición
AMC	Adaptative Modulation and Coding Codificación y Modulación Adaptativa
AP-AICH	Access Preamble Acquisition Indicator Channel, Canal Indicador de Adquisición de Preámbulo de Acceso
ASA	Adaptive/Smart Antennas, Antenas Inteligentes Adaptativas
ASIC	Application Specific Integrated Circuit , Circuito Integrado de Aplicaciones Específicas
AWGN	Additive White Gaussian Noise, Ruido Gaussiano Blanco Aditivo
BCH	Broadcast Channel, Canal de Broadcast
BER	Bit Error Rate, Tasa de Error de Bits
BLER	Block Error Rate, Tasa de Error de Bloque
bps	bits per second, bits por segundo
BS	Base Station, Estación Base
BTFD	Blind Transport Format Detection, Detección no Visible del Formato de Transporte
CCTrCH	Coded Composite Transport Channel, Canal de Transporte Compuesto Codificado
CD/CA-ICH	Collision Detection/Channel Assignment Indicator Channel, Canal Indicador de Colisión/Asignación del Canal
CDMA	Code Division Multiple Access, Acceso Múltiple por División de Código
CDMA2000	Code Division Multiple Access-2000, Acceso Múltiple por División de Código-2000
CFN	Connection Frame Number, Número de Trama de Conexión
CN	Core Network, Núcleo de Red
CPCH	Common Packet Channel, Canal Común de Paquetes
CPICH	Common Pilot Channel, Canal Piloto Común
CRC	Cyclic Redundancy Check, Código de Redundancia Cíclica
CS	Circuit Switching, Conmutación de Circuitos
CSICH	CPCH Status Indicator Channel, Canal Indicador de Estado del CPCH
DCCH	Dedicated Control Channel, Canal Dedicado de Control
DCH	Dedicated Channel, Canal Dedicado
DECT	Digital Enhanced Cordless Telecommunications, Telecomunicaciones Digitales Mejoradas Sin Hilos

DL	Downlink, Enlace Descendente
DPCCH	Dedicated Physical Control Channel, Canal de Control Físico Dedicado
DPCH	Dedicated Physical Channel, Canal Físico Dedicado
DPDCH	Dedicated Physical Data Channel, Canal de Datos Físico Dedicado
DS-CDMA	Direct Sequence CDMA, CDMA de secuencia Directa
DSCH	Downlink Shared Channel, Canal Compartido en el DL
DSP	Digital Signal Processor, Procesador Digital de Señales
DTCH	Dedicated Traffic Channel, Canal Dedicado de Trafico
DTX	Discontinuous Transmission, Transmisiones discontinuas
EDGE	Enhanced Data Rates for GSM Evolution, Tasas de Datos Mejoradas para la Evolución de GSM
ETSI	European telecommunications Standards Institute, Instituto de Estándares de Telecomunicaciones Europeo
E-UTRA	Enhanced UMTS, UMTS Mejorado
FACH	Forward Access Channel, Canal de Acceso Adelantado
FDD	Frequency División Duplex, Duplexación por División de Frecuencia
F-DPCH	Fractional-DPCH, DPCH Fraccional
FEC	Forward Error Correction, Corrección de Errores
FER	Frame Error Rate, Tasa de Error de Trama
FPLMTS	Future Public Land Mobile Telecommunications System, Sistemas de Telecomunicaciones Móviles Futuras
GAN	Generic Access Network, Acceso Generico a la Red
GGSN	Gateway GPRS Support Node, Nodo de Soporte de la Pasarela GPRS
GMSC	Gateway MSC, Pasarela MSC
GPS	Global Positioning System, Sistema de Posicionamiento Global
GSM	Global System for Mobile Communications, Sistema Global para Comunicaciones Móviles
HARQ	Hybrid Automatic Request, Petición de Repetición Automática Híbrida
HLR	Home Location Register, Registro de localización de usuarios locales
HSDPA	High Speed Downlink Paket Access, Acceso a Paquetes de Datos de Alta Velocidad en el Enlace de Bajada
HSUPA	High Speed Uplink Packet Access, Acceso a Paquetes de Datos de Alta Velocidad en el Enlace de Subida
Hz	Hertz
IMS	IP Multimedia Sub-system, Subsistema Multimedia IP
IMT-2000	International Mobile Telecommunications – 2000, Telecomunicaciones Móviles Internacionales – 2000
IP	Internet Protocol, Protocolo de Internet
IS-95	Interine Standard 95, Estándar 95
ISDN	Integrated Services Digital Network, Redes Digitales de Servicios Integrados
ITU	International Telecommunication Union, Unión Internacional de Telecomunicaciones
MAC	Medium Access Control, Control de Acceso al Medio

MBMS	Multimedia Broadcast Multicast Service, Servicio Multimedia Broadcast y Multicast
ME	Mobile Equipment, Equipo Móvil
MLSE	Maximum Likelihood Sequence Estimator, Estimador de Secuencia Máxima más Probable
MRC	Maximal Ratio Combining, Combinación de Relación Máxima
MSC/VLR	Mobile Services Switching Centre/Visitor Location Register, Centro de Conmutación de Servicios Móviles/Registro de la Ubicación del Visitante
MUD	Multiuser Detection, Detección Multiusuario
OVSF	Orthogonal Variable Spreading Factor, Ortogonales con Factor de Expansión Variable
P-CCPCH	Primary Common Control Physical Channel, Canal Físico de Control Común Primario
PCH	Paging Channel, Canal de Búsqueda
PCPCH	Physical Common Packet Channel, Canal Físico Común de Paquetes
PICH	Paging Indicator Channel, Canal Indicador de Búsqueda
PRACH	Physical Random Access Channel, Canal Físico de Acceso Aleatorio
PS	Packet Switching, Conmutación de Paquetes
P-SCH	Primary-SCH, SCH Primario
PSTN	Public Switched Telephone Network, Redes de Telefonía Pública Conmutada
PTT	Push To Talk, Pulse para Hablar
QoS	Quality of Service, Calidad de Servicio
RACH	Random Access Channel, Canal de Acceso Aleatorio
RF	Radiofrequency, Radiofrecuencia
RNC	Radio Network Controller, Controlador de Red Radio
RSC	Recursive Systematic Convolutional, Convolucionales Sistemáticos Recursivos
SAP	Service Access Point, Punto de Acceso al Servicio
S-CCPCH	Secondary Common Control Physical Channel, Canal Físico de Control Común Secundario
SCH	Synchronisation Channel, Canal de Sincronización
SF	Spreading Factor, Factor de Ensanchamiento
SGSN	Serving GPRS support Node, Nodo de soporte del servicio GPRS
SIM	Subscriber Identity Module, Módulo de Identidad de Subscriptor
SIR	Signal Interference Ratio, Relación Señal Interferencia
S-SCH	Secondary-SCH, SCH Secundario
TDD	Time Division Duplex, Duplexación por División de Tiempo
TD-SCDMA	Time Division-Synchronous Code Division Multiple Access, División de Tiempo - Acceso Múltiple por División Síncrona de Código
TFCI	Format Combination Indicator, Indicador de Combinación de Formato de Transporte
TFI	Transport Format Indicator, Indicador de Formato de Transporte
TPC	Transmit Power Control, Control de Potencia Transmitida
TrCH	Transport Channel, Canal de Transporte
TTI	Time Transmission Interval, Intervalo de Tiempo de Transmisión

UE	User Equipment, Equipo de Usuario
UL	Uplink, Enlace Ascendente
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System, Sistema de Telecomunicaciones Móviles Universales
USIM	UMTS Subscriber Identity Module, Módulo de Identidad de Subscriptor UMTS
UTRAN	UMTS Terrestrial Radio Access Network, Red de Acceso Radio UMTS
UWC-136	Universal Wireless Communications – 136, Comunicaciones Inalámbricas Universales-136
WCDMA	Wideband CDMA, CDMA Banda Ancha

GLOSARIO

Algoritmo de Viterbi : Algoritmo de programación dinámica para encontrar la secuencia de mayor probabilidad de los estados ocultos, llamados trayecto de viterbi, que resultan en una secuencia de eventos, especialmente en el contexto de los modelos ocultos de markov.

Blockset: Conjunto de bloques para aplicaciones específicas del entorno Simulink de Matlab®. Matlab ® cuenta con el simulink blockset que tiene las operaciones básicas, el signal processing blockset para el procesamiento de la señal, el communication blockset para aplicaciones de comunicaciones, entre otros.

bps; Kbps; Mbps; Gbps: Bits por segundo, unidad de transmisión de datos empleada principalmente en referencia a comunicaciones de red. Es una medida de velocidad de transmisión de datos. También se usan los Kbps (equivalente a mil bps) y Mbps (equivalente 1 millón de bps).

Broadcast: En una transmisión de redes, enviar un mensaje a todos los nodos conectados.

Buffer: En informática, un buffer de datos es una ubicación de la memoria en una computadora o en un instrumento digital reservada para el almacenamiento temporal de información digital, mientras que está esperando ser procesada.

Celda: Un área geográfica cubierta por una determinada estación base.

Diagrama de Trellis: Diagrama en forma de red ó malla en donde cada línea horizontal se corresponde a uno de los estados de un codificador. Cada línea vertical se corresponde con uno de los niveles del árbol del código.

Handover: Se denomina Handover al sistema utilizado en comunicaciones móviles celulares con el objetivo de transferir el servicio de una estación base a otra cuando la calidad del enlace es insuficiente. Este mecanismo garantiza la realización del servicio cuando un móvil se traslada a lo largo de su zona de cobertura.

Hz; kHz; MHz; GHz: Hertz, unidad de medida para frecuencias. Se utilizan KHz (equivalentes mil Hz), MHz (equivalentes a un millón Hz).

RF o radiofrecuencia: Porción del espectro electromagnético entre 3 kHz y 300 GHz que se usa generalmente para fines de comunicaciones, incluye la transmisión de radio y televisión y las comunicaciones móviles.

Release: Versión particular del grupo de estándares de UMTS producidos por el 3GPP. Existen release 99, release 4, release 5, release 6, release 7.

Secuencia Gold: La secuencia Gold fue propuesta por B. Gold en 1967. La secuencia se construye al aplicar la operación OR exclusiva a dos m secuencias de la misma longitud.

INTRODUCCIÓN

Desde su origen, las comunicaciones móviles han evolucionado rápidamente siendo cada vez más sofisticadas y ubicuas (en cualquier momento, en cualquier lugar). La popularidad de las comunicaciones móviles surgió en la década de 1990. Los sistemas celulares 1G (1st Generation, 1ra Generación) y 2G (2nd Generation, 2da Generación) fueron en muchos de los casos incapaces de brindar una mayor capacidad de la red para atender un número creciente de usuarios. Al mismo tiempo, gracias al crecimiento de Internet, los usuarios demandan nuevos y mejores servicios, muchos de los cuales se soportan en comunicaciones de datos de alta velocidad, que las tecnologías presentes en el momento no podían soportar.

Los sistemas móviles 3G (3rd Generation, 3ra Generación) definen nuevos servicios, como la descarga de música, los tonos de timbrado (ring tones), juegos y video en tiempo real, servicios de difusión. Estos servicios tienen diferentes requerimientos de QoS (Quality of Service, Calidad de Servicio) con diferentes características de tráfico. Ya para el año 2002 en países como Estados Unidos, Canadá, y en varios países de Europa el tráfico de servicios de datos sobrepasaba el tráfico de servicios de voz (27.645 Gbps (Gigabits per second, Gigabits por segundo) para el tráfico de datos contra 2.411 Gbps para el tráfico de voz [1]), marcando una transición del paradigma de voz al paradigma de datos. Los desarrollos en los últimos años buscan maximizar la eficiencia en el uso del espectro radioeléctrico para ofrecer servicios de voz y de datos. Otros retos se encuentran relacionados con itinerancia (roaming) global e interoperabilidad entre diferentes sistemas de comunicaciones móviles. Como es de esperarse, Colombia no es ajena a esta problemática y una creciente demanda de nuevos servicios y aplicaciones por parte de los usuarios de telefonía móvil ha llevado a los operadores a la búsqueda y exploración de tecnologías de tercera generación ó superiores que satisfagan las necesidades actuales. Una de las opciones a considerar es WCDMA, esta tecnología ofrece mayores velocidades de transmisión de datos y un portafolio más amplio de servicios.

Una opción para los primeros acercamientos a esta tecnología es la simulación, que permite realizar un análisis sobre el comportamiento del sistema, bajo diferentes condiciones y así determinar la viabilidad de su implementación. Por esta razón es importante iniciar proyectos que tengan como finalidad conocer más a fondo el sistema. Este documento es resultado del Modelado y simulación del nivel físico de WCDMA en su modo FDD, en donde se realizó un análisis del procesamiento de la señal en banda base para el enlace descendente. En esta simulación se consideraron diferentes condiciones del medio de propagación para analizar el desempeño del sistema, como también algunas de las mejoras introducidas por tecnologías de 3.5 G como es HSDPA.

En el primer capítulo del documento se describe el nivel físico de la tecnología WCDMA, en donde se describen los procesos del DL, y se introduce HSDPA. El segundo capítulo se desarrolla la metodología de simulación a la tecnología, generando el modelo de simulación (la implementación de este modelo se realiza en el anexo B). El tercer capítulo describe las pruebas realizadas el

modelo, la obtención y análisis de resultados. Por último se presenta un capítulo (Capítulo 4) que contiene las conclusiones y recomendaciones.

CAPITULO 1

ASPECTOS GENERALES DE WCDMA

1.1 INTRODUCCIÓN

Hacia el año 2000 la ITU (International Telecommunication Union, Unión Internacional de Telecomunicaciones), ETSI (European telecommunications Standards Institute, Instituto de Estándares de Telecomunicaciones Europeo), y otras organizaciones de estandarización participaron en la definición de un FPLMTS (Future Public Land Mobile Telecommunications System, Sistemas de Telecomunicaciones Móviles Futuras), proyecto llamado IMT-2000 (International Mobile Telecommunications-2000, Telecomunicaciones Móviles Internacionales para el año 2000) [2]. El objetivo de este proyecto era lograr la convergencia de las diferentes tecnologías celulares existentes promoviendo un trabajo colaborativo en un sistema globalmente compatible para comunicaciones móviles e inalámbricas.

Operando en la banda de 2 GHz (Gigahertz), el nuevo sistema necesitaba ser compatible hacia atrás con los sistemas 2G, además se necesitaba que el nuevo sistema incrementara la capacidad y brindara servicios de voz y datos. Los sistemas 3G son capaces de soportar servicios de datos por CS (Circuit Switching, Conmutación de Circuitos) y PS (Packet Switching, Conmutación de Paquetes). Para los servicios basados en PS, las velocidades de transmisión de datos definidas para diferentes ambientes móviles son [3]:

- Interna o estacionaria (usuario cuasi-estacionario) – 2Mbps
- Externa urbana y peatonal (usuario caminando) – 384 Kbps
- Amplia área vehicular (usuario en un vehículo) – 144 Kbps

De las diferentes propuestas recibidas por ITU, se seleccionaron 5, entre las cuales se encontraban CDMA2000 (Code Division Multiple Access-2000, Acceso Múltiple por División de Código-2000), UWC-136 (Universal Wireless Communications – 136, Comunicaciones Inalámbricas Universales-136), UMTS (Universal Mobile Telecommunications System, Sistema de Telecomunicaciones Móviles Universales), DECT (Digital Enhanced Cordless Telecommunications, Telecomunicaciones Digitales Mejoradas Sin Hilos) (Europa) y TD-SCDMA (Time Division-Synchronous Code Division Multiple Access, División de Tiempo - Acceso Múltiple por División Síncrona de Código) [4] [5]. Tres de las propuestas están basadas en Acceso Múltiple por División de Código (CDMA, Code Division Multiple Access): CDMA2000 en su versión 1xEV-DO (Evolution Data Only, Evolución de Datos) y en su versión 1xEV-DV (Evolution Data and Voice, Evolución de Datos y Voz), WCDMA (Wideband CDMA, CDMA Banda Ancha) conocida también como UMTS, y TD-SCDMA. La idea de la ITU (IMT-2000) con estas propuestas fue definir un estándar mundial, bajo una misma plataforma [6], en una misma frecuencia y con una

única tecnología, lo que al final no se logró debido a que algunos países ya tenían implementados sistemas diferentes en algunas frecuencias en las que se planeaba el sistema 3G propuesto por la ITU. Al tener diferentes propuestas y no un consenso general, no se cumplió el objetivo de la ITU que fue definir un estándar mundial.

En el método FDD (Frequency División Duplex, Duplexación por División de Frecuencia) utilizado por WCDMA y CDMA2000 1x-EV, frecuencias portadoras separadas se utilizan para el UL (Uplink, Enlace Ascendente) y el DL (Downlink, Enlace Descendente) operando en lo que se denomina bandas pares, con una banda de guarda entre ellas; mientras que para el método TDD (Time Division Duplex, Duplexación por División de Tiempo) una sola portadora es compartida en el tiempo entre el UL y DL operando en lo que se denomina bandas impares, o sea una sola banda [7]. Este último método de duplexación es implementado específicamente por TD-SCDMA y puede ser implementado en WCDMA y CDMA2000 1x, lo que exige una alta sincronización y por ello es implementado en picoceldas.

UMTS se basa en el CN (Core Network, Núcleo de Red) de los sistemas existentes GSM (Global System for Mobile Communications, Sistema Global para Comunicaciones Móviles), pero se optó por una tecnología de acceso radio totalmente nueva en la forma de la versión banda ancha CDMA (WCDMA). La evolución para soportar velocidades de transmisión de datos más altas en el DL y UL fue lograda con la introducción de HSDPA (High Speed Downlink Packet Access, Acceso a Paquetes de Datos de Alta Velocidad en el Enlace de Bajada) y HSUPA (High Speed Uplink Packet Access, Acceso a Paquetes de Datos de Alta Velocidad en el Enlace de Subida) respectivamente [8].

Algunas de las principales características y parámetros del sistema WCDMA que se discutirán a lo largo de este capítulo y capítulos posteriores son [2] [9]:

- WCDMA es un sistema DS-SS-SS (Direct Sequence CDMA, CDMA de Secuencia Directa) lo que permite que la información de usuario transportada en los bits de información de usuario sea ensanchada sobre un amplio ancho de banda, por medio de la multiplicación de los datos de usuario con secuencias pseudoaleatorias o de pseudoruido formadas por bits llamados chips, derivados de los códigos de ensanchamiento CDMA.
- WCDMA soporta velocidades de transmisión de datos de usuario altamente variables, en otras palabras el concepto de obtener BoD (Bandwidth on Demand, Ancho de Banda bajo Demanda) se encuentra soportado. La velocidad de transmisión de datos de un usuario se mantiene constante durante cada trama.
- La duración de una trama WCDMA es de 10 ms (milisegundos). La trama se divide en 15 ranuras o divisiones de tiempo. Cada ranura transporta 2560 chips por lo tanto la velocidad de transmisión de chip es de 3.84Mcps.

- La velocidad de transmisión de chip 3.84Mcps lleva a un ancho de banda de aproximadamente 5MHz. El ancho de banda de la portadora WCDMA permite soportar altas velocidades de transmisión de datos de usuario.
- WCDMA soporta dos modos básicos de operación: FDD y TDD. En el modo FDD, varias frecuencias portadoras de 5MHz separadas se utilizan para el UL y el DL, mientras que en el modo TDD solo una portadora de 5MHz es compartida en el tiempo entre el UL y el DL.
- La velocidad de transmisión de datos del canal varía con la velocidad de transmisión de símbolos que se deriva de la velocidad de transmisión de chip y del SF (Spreading Factor, Factor de Ensanchamiento). Los factores de ensanchamiento en FDD van de 512 a 4 en el DL, de esta manera las velocidades de modulación de símbolos varían desde 960 ksps (kilo símbolos por segundo) a 7.5ksps en el DL. (Dado que $SF = \frac{\text{Velocidad de Chip}}{\text{Velocidad de símbolo}}$ (1.1))
- El modo FDD de WCDMA soporta la operación de estaciones base asíncronas, por lo que, al contrario del sistema síncrono IS-95 (Interine Standard 95, Estándar 95), también llamado CDMAone, no hay necesidad de una referencia de tiempo global como el GPS (Global Positioning System, Sistema de Posicionamiento Global).
- WCDMA emplea detección coherente en el UL y DL basándose en el uso de símbolos piloto y pilotos comunes.
- La interfaz de aire WCDMA se ha hecho de tal manera que los conceptos relacionados con receptores CDMA avanzados, como MUD (Multiuser Detection, Detección Multiusuario) y ASA (Adaptive/Smart Antennas, Antenas Inteligentes Adaptativas), pueden emplearse para incrementar la capacidad y/o cobertura del sistema.
- WCDMA está diseñado para ser empleado en conjunto con GSM. Por lo tanto se deben soportar handovers¹ entre GSM y WCDMA, aprovechando el despliegue y cobertura de GSM a nivel mundial.

En 1998 se crea el 3GPP (3rd Generation partnership Project, Proyecto de Cooperación Tercera Generación) como organismo de estandarización de los sistemas de telecomunicaciones basados en GSM y su evolución. Los estándares generados por este organismo se divulgan por medio de “Release” (lanzamiento), cada Release incorpora cientos de documentos de estándares individuales que especifican todos los aspectos de la red y son de distribución libre. Específicamente en el primer cuatrimestre del año 2000, se incorpora el Release 99, que es la primera especificación formal de los sistemas de comunicaciones de tercera generación UMTS que incorpora la interfaz de aire basada en CDMA. Posteriormente surgen los llamados Release 4, 5, 6 y 7, y se planea un nuevo release para el año 2009 (release 8), la tabla 1.1 [10] resume las características de estos lanzamientos.

¹ Traspaso de comunicaciones entre celdas

Version	Lanzamiento	Información
Release 99	2000 1º cuatrimestre	Especificó la primera red 3G UMTS que incorpora una interfaz de aire CDMA
Release 4	2001 2º cuatrimestre	Originalmente llamado Release 2000, Adicionó características que incluyen un núcleo de red todo IP ² (all-IP)
Release 5	2001 1º cuatrimestre	Introdujo IMS ³ y HSDPA.
Release 6	2004 4º cuatrimestre	Integró la operación con redes inalámbricas de área local y adicionó HSUPA, MBMS ⁴ , mejoras a IMS como PoC ⁵ , GAN ⁶ .
Release 7	2006 2º cuatrimestre	Se enfoca en decrementar la latencia, QoS y mejoramientos en las aplicaciones en tiempo real como VoIP ⁷ . Esta especifica HSPA+, protocolos de alta velocidad SIM ⁸ e interfaces sin contacto anticipado (Comunicaciones de campo cercano que habilitan a los operadores a entregar servicios sin contacto como pagos móviles), evolución de EDGE ⁹ .
Release 8 y siguientes	En progreso, Esperado para el 2009	E-UTRA ¹⁰ , Redes todo IP. El Release 8 constituye una re fabricación de UMTS como una red 4G basada totalmente en IP.

Tabla 1.1 Especificaciones del 3GPP

Una de las adiciones más significativas a WCDMA es la incorporación de HSDPA. HSDPA incrementa la velocidad de transmisión de datos pico en el DL y por lo tanto incrementa la eficiencia en el uso del espectro, haciendo el sistema más competitivo con otras tecnologías inalámbricas que disponen de altas velocidades de transmisión de datos como es el caso de CDMA2000 1xEV-DO.

El Release 5 de las especificaciones 3GPP sobre WCDMA incluyó HSDPA en un esfuerzo para hacer el sistema más eficiente para aplicaciones de datos, por medio del incremento de las velocidades de transmisión de datos pico y de la reducción de latencia de paquetes. Aunque la velocidad de transmisión de datos pico teórica para HSDPA es de aproximadamente 14Mbps, la máxima velocidad alcanzable en la actualidad es de 3.6Mbps [11]. De manera general los cambios introducidos por HSDPA son: nuevos canales de transporte compartidos en el enlace de bajada, rápida adaptación del enlace debido a AMC (Adaptive Modulation and Coding, Codificación y Modulación Adaptativa), HARQ (Hybrid Automatic Request, Petición de Repetición Automática Híbrida), planificación rápida (Fast Scheduling), y selección rápida de la celda (ver anexo A).

² Internet Protocol, Protocolo de Internet

³ IP Multimedia Sub-system, Subsistema Multimedia IP

⁴ Multimedia Broadcast Multicast Service, Servicio Multimedia Broadcast y Multicast

⁵ PTT over Cellular, PTT sobre Celular

⁶ Generic Access Network, Acceso Genérico a la Red

⁷ Voice over IP, Voz Sobre IP

⁸ Subscriber Identity Module, Módulo de Identidad de Subscriptor

⁹ Enhanced Data Rates for GSM Evolution, Tasas de Datos Mejoradas para la Evolución de GSM

¹⁰ Enhanced UMTS, UMTS Mejorado

HSDPA, considerado como una tecnología 3.5G, es compatible hacia atrás con el release 99 de 3GPP, por lo tanto aplicaciones de voz y datos desarrolladas para WCDMA funcionan en las redes actualizadas, y el mismo canal radio soporta servicios WCDMA y HSDPA simultáneamente.

El resultado de añadir HSDPA a WCDMA es similar al de añadir EDGE a GSM [12]: la mejora en la velocidad de transmisión de datos pico y el incremento global en la capacidad del sistema, particularmente en celdas pequeñas.

HSUPA es un protocolo de acceso de datos para redes de telefonía móvil con alta velocidad de transmisión de datos en el UL. Calificado como 3.75G, es una evolución de HSDPA. HSDPA y HSUPA, ofrecen altas prestaciones de voz y datos, y permitirá la creación de un gran mercado de IP multimedia móvil. HSUPA mejorará las aplicaciones de datos avanzados persona a persona, con mayores y simétricas velocidades de transmisión de datos, como juegos en tiempo real [13]. HSDPA y HSUPA añaden nuevos canales de alta velocidad a las especificaciones de WCDMA, soportando nuevos servicios multimedia.

HSUPA conecta las ventajas de UMTS como el amplio cubrimiento de la red en el despliegue final y el tipo de aplicación en vehículos, con las ventajas de las WLAN (Wireless Local Area Network, Redes de Área local Inalámbricas). HSUPA soporta internet de banda ancha a un costo muy bajo, debido a que se basa en una actualización software de la red. Las características de HSUPA se especificaron por el 3GPP en el Release 6. En este Release HSUPA se especifico a una velocidad de 5.76Mbps como un dato teórico. Actualmente existen demostraciones que HSUPA puede alcanzar la velocidad de 1.4Mbps [14].

1.1.1 Arquitectura del sistema

El sistema UMTS consiste de un numero de elementos de red lógicos que cada uno tiene una funcionalidad definida. En los estándares, los elementos de red se definen en el nivel lógico, pero frecuentemente esto resulta en una implementación física similar, especialmente desde que existen interfaces abiertas. Los elementos de red pueden ser agrupados basados en una funcionalidad ó basados en la subred a la cual pertenecen.

Funcionalmente los elementos de red se agrupan en la UTRAN (UMTS Terrestrial Radio Access Network, Red de Acceso Radio UMTS) que maneja toda la funcionalidad relacionada con aspectos radio, y CN el cual es responsable de la conmutación y enrutamiento de llamadas, y de la conexión de datos a otras redes, por último se encuentra como elemento de red el UE (User Equipment, Equipo de Usuario), el cual mantiene una interfaz con el usuario. La arquitectura de los elementos de la red se muestra en la figura 1.1 [9].

Otra forma de agrupar los elementos de la red UMTS es dividirlos en subredes. El sistema UMTS es modular en el sentido en que es posible tener varios elementos de red del mismo tipo. En principio, el requerimiento mínimos para disponer de una red completamente operacional es tener al menos un elemento lógico de la red de cada tipo (de este modo algunas características y por consecuencia algunos elementos de la red son opcionales). La posibilidad de tener varias entidades

del mismo tipo permite la división del sistema UMTS en subredes que son operacionales por si mismas a en conjunto con otras subredes, estas subredes se distinguen entre si con identidades únicas. Cada subred se denomina como una PLMN, cada PLMN es administrada por un operador, y puede conectarse a otras PLMN o a otros tipos de redes como internet, ISDN (Integrated Services Digital Network, Redes Digitales de Servicios Integrados), entre otras [15]. La figura 1.1 muestra los elementos de la PLMN y muestra también conexiones a redes externas.

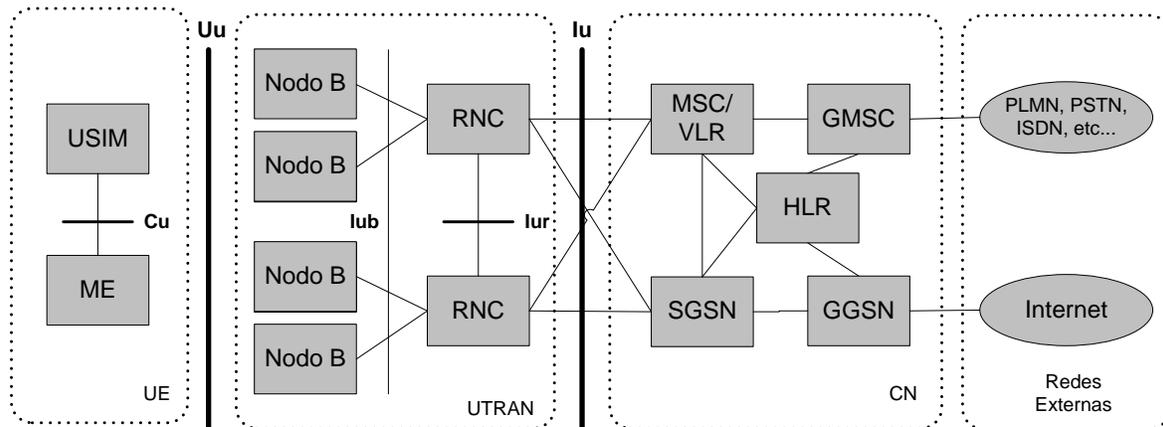


Figura 1.1. Elementos de red de WCDMA

El UE consiste de dos partes:

- El ME (Mobile Equipment, Equipo Móvil): es el terminal radio utilizado para las radiocomunicaciones sobre la interface Uu.
- El USIM (UMTS Subscriber Identity Module, Módulo de Identidad de Subscriptor UMTS) es una tarjeta inteligente que conserva la identidad del subscriptor, ejecutando algoritmos de autenticación y almacenado claves de autenticación y encriptación e información del subscriptor.

UTRAN también consiste de dos elementos:

- El Nodo B o BS¹¹ (Base Station, Estación Base): el cual procesa el flujo de datos entre las interfaces Iub y Uu. Este también participa en la gestión de recursos radio.
- El RNC (Radio Network Controller, Controlador de Red Radio): el cual controla y administra el recurso radio. El RNC es el SAP (Service Access Point, Punto de Acceso al Servicio) para todos los servicios que UTRAN provee al CN.

Los principales elementos del CN son:

- HLR (Home Location Register, Registro de localización de usuarios locales) es una base de datos localizada en el sistema relacionada con los perfiles de los usuarios pertenecientes a un operador.

¹¹ En el documento se utilizan indistintamente los dos términos

- MSC/VLR (Mobile Services Switching Centre/Visitor Location Register, Centro de Conmutación de Servicios Móviles/Registro de la Ubicación del Visitante): Es el conmutador (MSC) y la base de datos (VLR) los que ayudan al UE en su posición actual para llevar a cabo los servicios de CS. La función MSC se utiliza para conmutar las transacciones CS, y la función VLR mantiene una copia del perfil de servicios del usuario visitante (usuario de otro operador en un área de servicio diferente), así como también mantiene una información más precisa sobre la localización del UE dentro del sistema al cual se le está brindando el servicio.
- GMSC (Gateway MSC, Pasarela MSC) es el conmutador entre el punto donde la UMTS PLMN se conecta a las redes de CS externas. Todas las conexiones por CS entrantes y salientes pasan a través del GMSC.
- SGSN (Serving GPRS support Node, Nodo de soporte del servicio GPRS), funcionalmente es similar al MSC/VLR pero típicamente se usa para servicios de PS. La parte de la red que se accede vía SGSN se refiere a menudo como el dominio PS.
- GGSN (Gateway GPRS Support Node, Nodo de Soporte de la Pasarela GPRS) la funcionalidad es parecida al GMSC pero en relación al servicio PS.

La red externa se puede dividir en dos grupos:

- Redes CS: Soporte a conexiones por CS (como PSTN (Public Switched Telephone Network, Redes de Telefonía Pública Conmutada) e ISDN).
- Redes PS: Soporte a conexiones por conmutación de paquetes (como internet).

El estándar UMTS se estructura de manera que las funcionalidades internas de los elementos de red no se especifican en detalle. En cambio las interfaces entre los elementos de las redes lógicas han sido totalmente definidas. Las siguientes interfaces abiertas se especifican [16].

- Interfaz Cu: Interfaz eléctrica entre el USIM y el ME. Esta interfaz cumple con el estándar de las tarjetas inteligentes.
- Interfaz Uu: Interfaz radio WCDMA. Interfaz a través de la cual el UE accede a la parte fija del sistema, y es por lo tanto la interfaz más importante en UMTS.
- Interfaz Iu: Esta interfaz conecta la UTRAN a la CN, brindando al operador la posibilidad de adquirir equipos de diferentes fabricantes para la UTRAN y CN.
- Interfaz Iur: Esta interfaz permite el soft handover entre RNCs de diferentes fabricantes, y por lo tanto complementa la interfaz Iu.
- Interfaz Iub: Conecta un nodo B y una RNC. UMTS es el primer sistema de telefonía móvil comercial donde las interfaces de las estaciones base se han estandarizado completamente y son estándares abiertos.

Como ya se ha dicho la interfaz Uu es una de las más importantes en UMTS, y es aquí donde se define el nivel físico, luego el estudio que se realiza está enfocado en esta interfaz.

1.2 DESCRIPCIÓN DEL NIVEL FÍSICO

1.2.1 Relación del Nivel Físico con otros Niveles

El nivel 1 (nivel físico) se basa en la tecnología WCDMA (para el modo FDD)/TD-SCDMA (para el modo TDD), este nivel posee una interfaz con el nivel MAC (Medium Access Control, Control de Acceso al Medio) el cual es un subnivel del nivel 2, y posee una interfaz con el RRC (Radio Resource Control, Control de Recursos Radio) el cual representa un subnivel del nivel 3.

El nivel físico ofrece diferentes canales de transporte al MAC. Un canal de transporte se caracteriza por la forma como transfiere la información sobre la interfaz radio. El subnivel MAC ofrece diferentes canales lógicos al RLC (Radio Link Control, Control de Enlace Radio) el cual es un subnivel del nivel 2. Un canal lógico se caracteriza por el tipo de información que transporta. Los canales físicos se definen en el nivel físico. En FDD un canal físico se caracteriza por el código, frecuencia y en el UL por la fase relativa (I/Q). El nivel físico es controlado por el RRC.

La Figura 1.2 [17] muestra la arquitectura de protocolos de la interfaz radio UTRA.

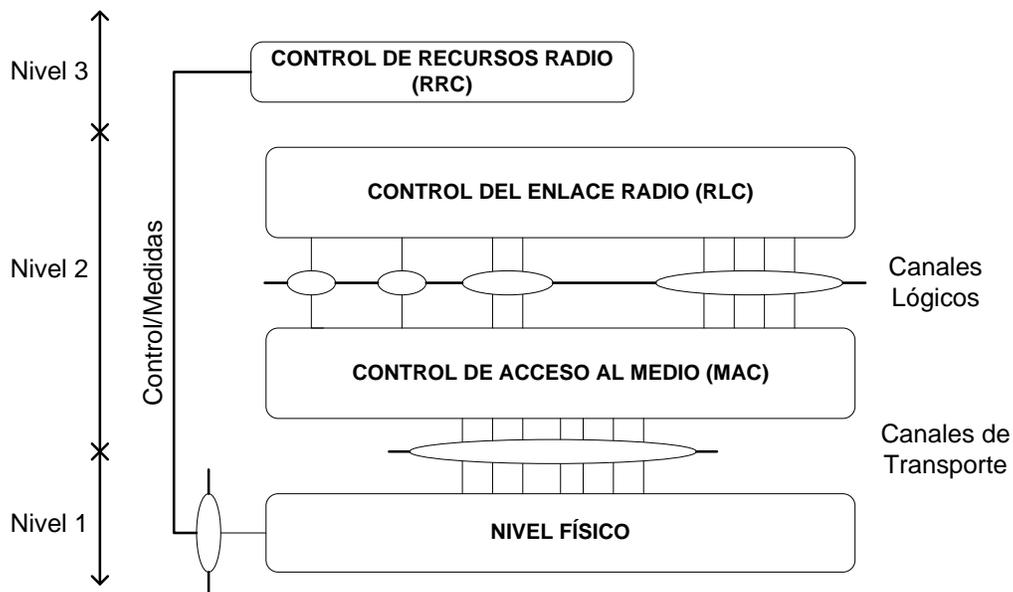


Figura 1.2. Arquitectura de protocolos de la interfaz radio.

1.2.2 Servicios que el nivel físico provee a niveles superiores.

El nivel físico ofrece servicios de transporte de datos a los niveles superiores. El acceso a estos servicios se hace a través de canales de transporte vía el subnivel MAC. El nivel físico desarrolla las siguientes funciones para proveer servicios de transporte de datos [17]:

- Macrodiversidad/combinación y ejecución de handover suave (soft handover).

- Codificación/decodificación FEC (Forward Error Correction, Corrección de Errores) de los canales de transporte.
- Detección de errores en los canales de transporte y reporte a los niveles superiores.
- Multiplexación de los canales de transporte y demultiplexación de los CCTrCHs (Coded Composite Transport Channels, Canales de Transporte Compuestos Codificados).
- Igualación de las velocidades de transmisión de los canales de transporte compuestos codificados con los canales físicos.
- Mapeo de los canales de transporte compuestos codificados en canales físicos.
- Incremento/reducción de potencia y combinación de canales físicos.
- Modulación/demodulación y ensanchamiento/desensanchamiento de los canales físicos.
- Sincronización de frecuencia y tiempo (chip, bit, ranura, trama).
- Medida de características radio incluyendo FER (Frame Error Rate, Tasa de Error de Trama), SIR (Signal Interference Ratio, Relación Señal Interferencia), potencia de interferencia, etc., y reporte a niveles superiores.
- Control de potencia de lazo interno (Inner - loop power control) también llamado control de potencia rápido de lazo cerrado rápido (fast closed loop power control).
- Procesamiento RF (Radiofrequency, Radiofrecuencia).
- Sincronización del cambio de control.
- Formación de haz.

1.2.3 Relación entre las funciones del nivel físico

La funcionalidad del nivel físico se encuentra en las especificaciones de la serie 25 del 3GPP. La figura 1.3 [17] muestra la relación de las funciones del nivel físico por especificación, en términos de flujo de información plana entre usuarios.

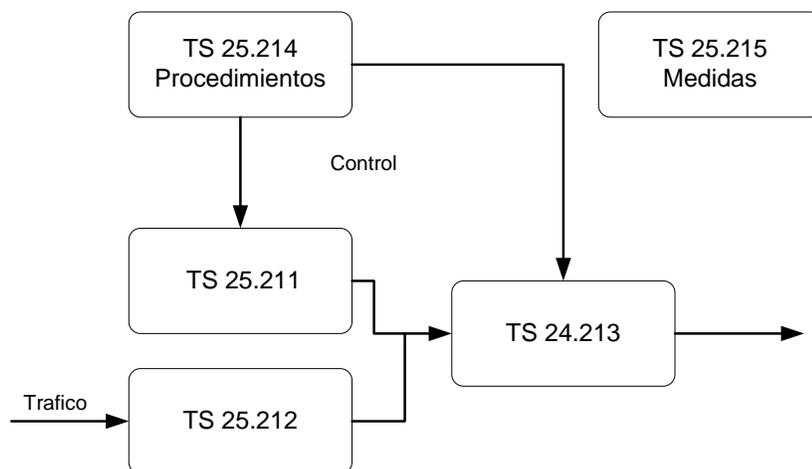


Figura 1.3 Relaciones de las funciones por especificación (modo FDD).

1.2.4 Canales físicos y mapeo de los canales de transporte en canales físicos

En UTRA los datos generados en niveles superiores son llevados sobre el aire por medio de canales de transporte, los cuales son mapeados en el nivel físico en canales físicos diferentes. Se requiere que el nivel físico soporte canales de transporte de velocidad de transmisión de bit variable para ofrecer servicios de ancho de banda bajo demanda, con la habilidad de multiplexar varios servicios en una sola conexión.

Cada canal de transporte se acompaña por el TFI (Transport Format Indicator, Indicador de Formato de Transporte) en cada instante de tiempo en el cual se espera que los datos lleguen desde los niveles superiores para un canal de transporte específico. El nivel físico combina la información TFI de canales de transporte diferentes en el TFCI (Transport Format Combination Indicator, Indicador de Combinación de Formato de Transporte). El TFCI se transmite en el canal de control físico para informar al receptor cuales canales de transporte están activos para la trama actual; la excepción a esto es la utilización de BTFD (Blind Transport Format Detection, Detección no Visible del Formato de Transporte). El TFCI es decodificado en el receptor y el TFI resultante se entrega a los niveles superiores para cada uno de los canales de transporte que puedan estar activos en una conexión [18], este proceso se ilustra en la figura 1.4. Los canales de transporte pueden tener un número diferente de bloques y en un momento dado no todos los canales de transporte están activos.

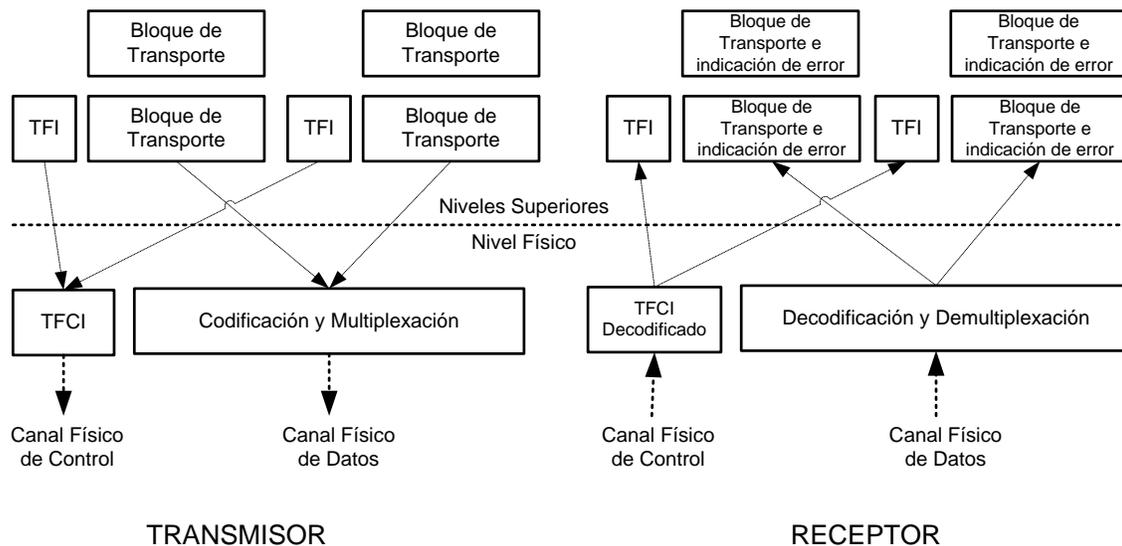


Figura 1.4 Interfaz entre los niveles superiores y el nivel físico.

Un canal de control físico y uno o más canales físicos de transporte de datos forman un CCTrCH. Puede haber más de un CCTrCH en una conexión dada pero solo un canal de control del nivel físico se transmite en este caso. Existen dos tipos de canales de transporte: los canales dedicados y los canales comunes. La principal diferencia entre ellos es que un canal común es un recurso dividido entre todos o entre un grupo de usuarios en una celda, mientras que un canal dedicado es un recurso,

identificado por un cierto código a una cierta frecuencia, el cual es reservado para la utilización de un solo usuario.

1.2.4.1 Canal dedicado de transporte

El único canal dedicado de transporte existente es el DCH (Dedicated Channel, Canal Dedicado). Este canal transporta toda la información proveniente de los niveles superiores al nivel físico para un usuario dado, que incluye datos del actual servicio así como información de control de los niveles superiores. El contenido de la información que se transporta sobre el DCH no es visible para el nivel físico[18].

1.2.4.2 Canales comunes de transporte

El Release'99 de UTRA define 6 diferentes tipos de canales comunes de transporte, los cuales se enumeran a continuación.

- BCH (Broadcast Channel, Canal de Broadcast): Se utiliza para difundir información específica a la red UTRA ó a una celda dada. Dirección DL.
- FACH (Forward Access Channel, Canal de Acceso Adelantado): Transporta información de control a los terminales que tienen una posición conocida por la red. Dirección DL
- PCH (Paging Channel, Canal de Búsqueda): Transporta datos relevantes del procedimiento de paging, esto es cuando la red desea iniciar comunicaciones con el terminal. Dirección DL.
- RACH (Random Access Channel, Canal de Acceso Aleatorio): Lleva información de control del terminal, como solicitudes para configurar una conexión. Dirección UL.
- CPCH (Common Packet Channel, Canal Común de Paquetes): Es una extensión del RACH utilizado para llevar datos de usuario en el UL.
- DSCH (Downlink Shared Channel, Canal Compartido en el DL): Transporta información de datos y/o control de usuario. Puede ser compartidos por varios usuarios.

Los diferentes canales de transporte se mapean en diferentes canales físicos, aunque algunos canales de transporte se transportan por un canal físico idéntico (ó incluso el mismo), como se ilustra en la figura 1.5 [18]. Adicionalmente a los canales de transporte, existen canales físicos que solo llevan información relevante del nivel físico, detalle que también se puede ver en la figura 1.5. Estos canales no son relevantes para el presente trabajo por lo que no se detallan a fondo.

Nótese (figura 1.5) que el DCH se mapea en dos canales físicos diferentes, el DPDCH (Dedicated Physical Data Channel, Canal de Datos Físico Dedicado) que transporta la información de los niveles superiores que incluye la información de usuario y el DPCCH (Dedicated Physical Control Channel, Canal de Control Físico Dedicado) que transporta la información de control necesaria solo para el nivel físico (ver figura 1.5).

1.2.5 Canales físicos en el DL

Las especificaciones 3GPP para UMTS definen los canales físicos que se observan en la figura 1.5. En la siguiente sección se describe el canal físico que es relevante para el presente documento.

1.2.5.1 Canales físicos dedicados en el DL

Al igual que en los canales de transporte, solo hay un DPCH (Dedidated Physical Channel, Canal Físico Dedicado). Dentro de un DPCH en el DL, los datos dedicados generados en el nivel 2 y en niveles superiores a este, por ejemplo, el DCH, son transmitidos multiplexados en el tiempo con información de control generada en el nivel 1. El DPCH en el DL puede de esta manera verse como una multiplexación en el tiempo de un DPDCH y un DPCCH. La figura 1.6 muestra la estructura de trama del DPCH en el DL [18]. Cada trama de longitud 10ms se divide en 15 ranuras, cada una de longitud igual a $T_{ranura} = 2560$ chips (3.84 Mcps), que corresponde a un periodo de control de potencia.

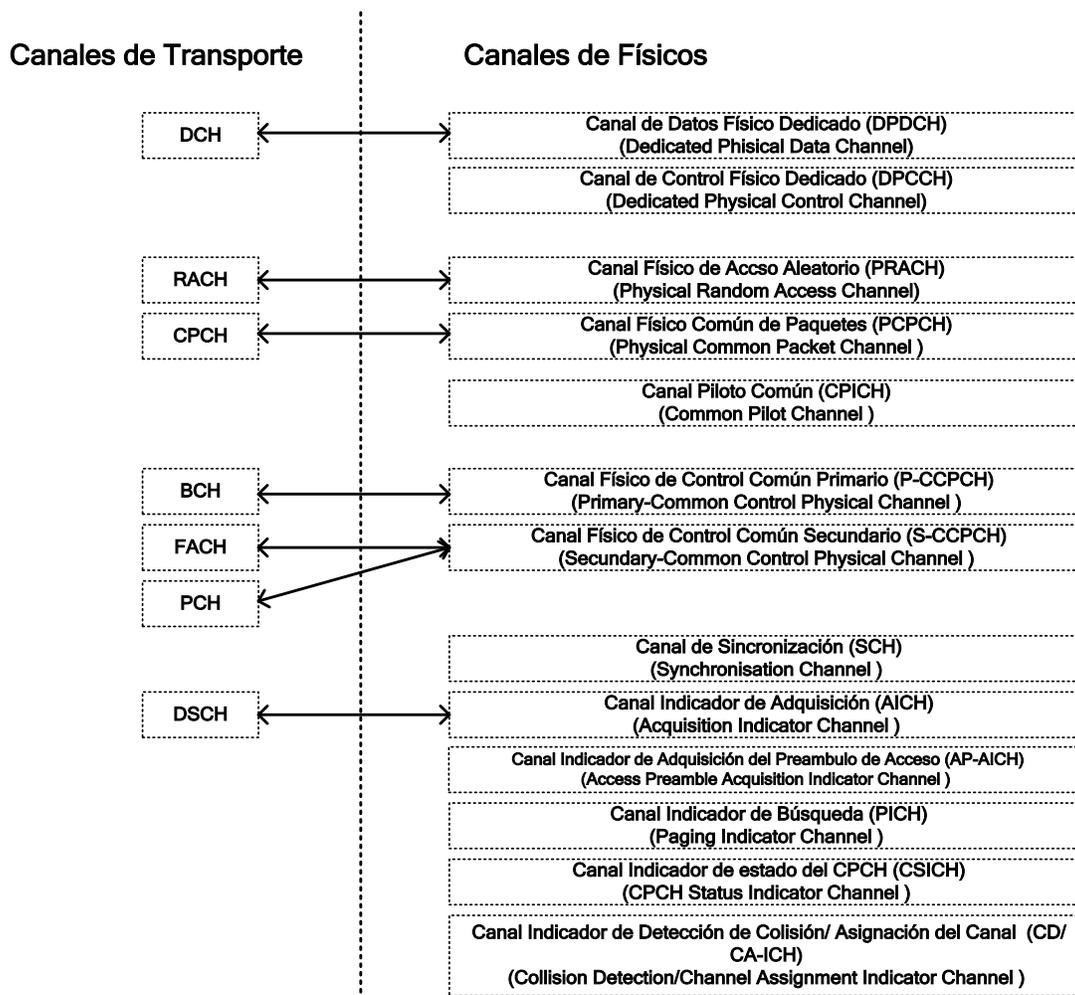


Figura 1.5 Mapeo de los canales de Transporte en los canales Físicos.

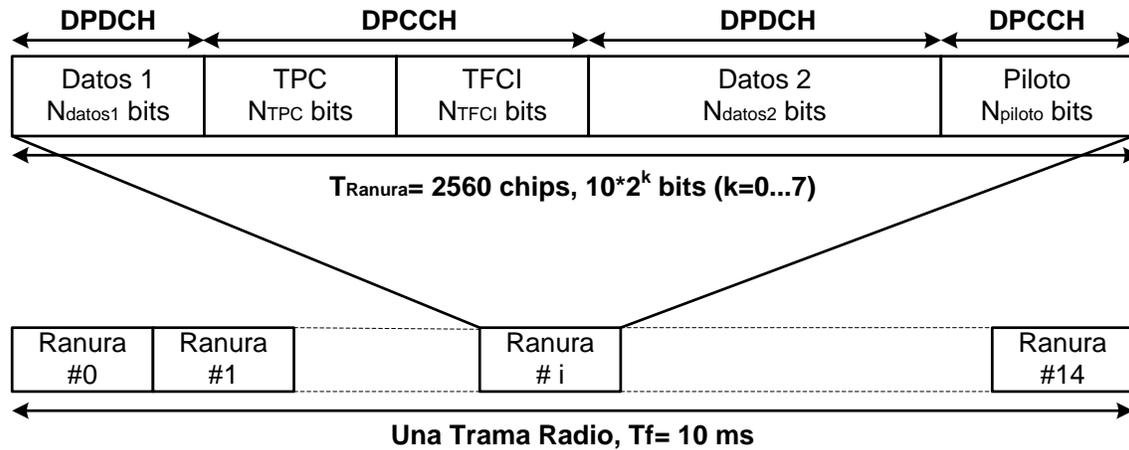


Figura 1.6 Estructura de la trama para el DPCH DL.

El parámetro k en la figura 1.6 determina el número total de bits por ranura en el DPCH para el DL, este parámetro está relacionado con el SF (Spreading Factor, Factor de Ensanchamiento) del canal físico como $SF = \frac{512}{2^k}$ (1.2). El SF se encuentra en el rango de 512 hasta 4. Los niveles superiores pueden configurar y reconfigurar el SF a utilizar.

Los bits TPC (Transmit Power Control, Control de Potencia Transmitida) se utilizan para enviar órdenes de control de potencia al UE para que este ajuste su potencia de transmisión en cada intervalo (1500 veces por segundo). Los bits TFCI notifican al UE el formato del canal dedicado de transporte. Existen básicamente dos tipos DPCH en el DL, los que incluyen TFCI (por ejemplo para varios servicios simultáneos) y los que no incluyen TFCI (por ejemplo para servicios con velocidades de transmisión de datos fijas). UTRAN determina si un TFCI debe transmitirse, y es obligatorio para todos los UE soportar la utilización de TFCI en el DL. En algunos casos, en el campo del TFCI se emplea DTX (Discontinuous Transmission, Transmisiones discontinuas), con velocidades reducidas. Los bits piloto ayudan a la demodulación coherente suministrando una referencia de fase. Una descripción de los patrones de los bits TPC y de los patrones de los bits piloto se muestra en la sección 2 del anexo A.

Se han definido 49 formatos de campos de trama (ranuras) para distintos valores del parámetro k y según se trabaje ó no en modo comprimido. En la tabla 1.2 [18] se indican los formatos para el modo normal (modo no comprimido).

Formato de Ranura #	Velocidad de bit del canal (kbps)	Velocidad de símbolo del canal (ksps)	SF	Bits/Ranura	DPDCH Bits/Ranura		DPCCH Bits/Ranura			Ranuras Transmitidas por Radio Trama
					N _{data1}	N _{data2}	N _{TPC}	N _{TFCI}	N _{Piloto}	
0	15	7.5	512	10	0	4	2	0	4	15
1	15	7.5	512	10	0	2	2	2	4	15
2	30	15	256	20	2	14	2	0	2	15

3	30	15	256	20	2	12	2	2	2	15
4	30	15	256	20	2	12	2	0	4	15
5	30	15	256	20	2	10	2	2	4	15
6	30	15	256	20	2	8	2	0	8	15
7	30	15	256	20	2	6	2	2	8	15
8	60	30	128	40	6	28	2	0	4	15
9	60	30	128	40	6	26	2	2	4	15
10	60	30	128	40	6	24	2	0	8	15
11	60	30	128	40	6	22	2	2	8	15
12	120	60	64	80	12	48	4	8*	8	15
13	240	120	32	160	28	112	4	8*	8	15
14	480	240	16	320	56	232	8	8*	16	15
15	960	480	8	640	120	488	8	8*	16	15
16	1920	960	4	1280	248	1000	8	8*	16	15

Tabla 1.2 Formatos de Ranura para el modo Normal.

De la tabla 1.2 se obtiene que la máxima velocidad de transmisión binaria por DPDCH es de 1920 Kbps. Si se necesita transmitir con una velocidad mayor se emplea la modalidad de transmisión multicódigo. En este caso se tiene un CCTrCH que se proyecta en varios DPDCH utilizando el mismo SF. La información de control (es decir el DPCCH) se envía en el primer canal DPDCH mientras que en los demás canales se transmiten bits de DTX (velocidad reducida). En la figura 1.7 [18] se visualiza un intervalo de transmisión multicódigo con tres canales físicos y se observa que el canal DPCCH va multiplexado en el primer canal DPDCH y es transmitido con potencia constante.

En el caso de que existan varios CCTrCH (diferentes servicios) mapeados en diferentes DPCH transmitidos al mismo UE, se pueden utilizar factores de ensanchamiento diferentes en los DPCH en los que se han mapeado CCTrCH diferentes, además en este caso, la información de control del nivel 1 solo se transmite en el primer DPCH mientras los bits DTX se transmiten durante el periodo de tiempo correspondiente para el DPCH adicional.

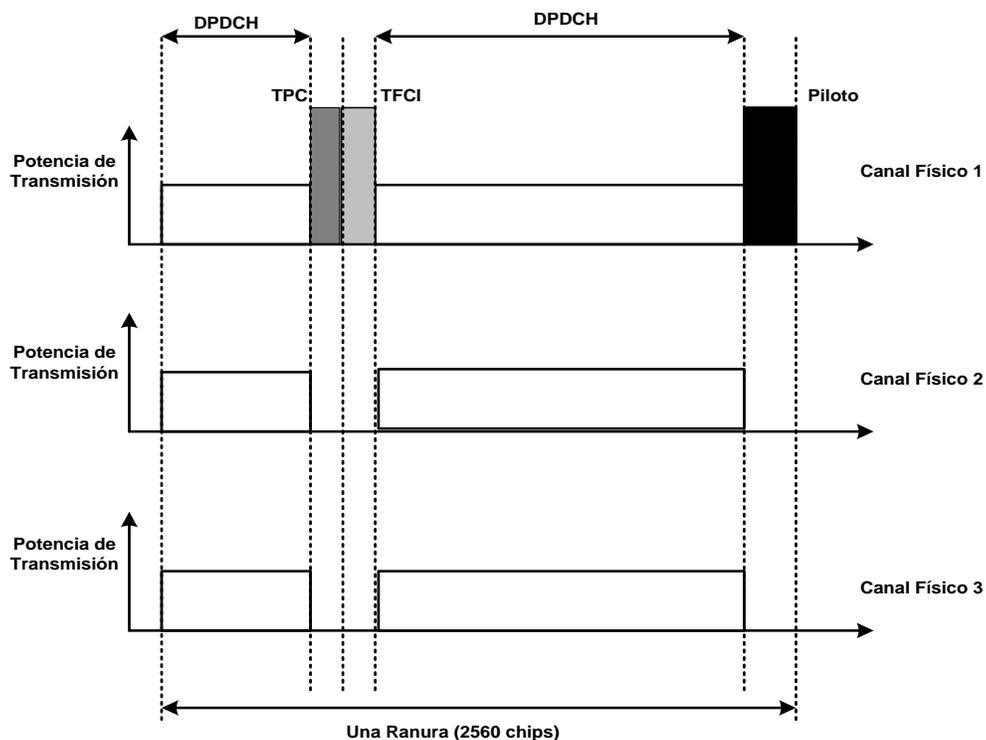


Figura 1.7 Formatos de ranuras para el caso de transmisión multicódigo.

1.2.6 Procesamiento de la señal a nivel físico en el DL.

En las siguientes secciones se describirá el procesamiento sobre las señales que ingresan al nivel físico en el DL desde que se reciben en los bloques de transporte pasando por multiplexación, codificación del canal e intercalamiento siguiendo por la modulación y ensanchamiento hasta que se obtiene una señal de espectro ensanchado de un ancho de banda de 5 MHz.

1.2.6.1 Multiplexación, codificación del canal e intercalamiento

Los flujos de datos desde y hacia el nivel MAC y a los niveles superiores (Bloque de transporte/grupo de bloques de transporte, ver figura 1.4 sección 1.2.4) son codificados/decodificados para ofrecer servicios de transporte sobre una transmisión en un enlace radio. El esquema de codificación del canal es una combinación de detección y corrección de errores, intercalamiento (interleaving) y mapeo de los canales de transporte concatenados/segmentados en los canales físicos. El flujo de datos de salida de la multiplexación de los canales de transporte, incluyendo los bits de indicación DTX en el DL, se denota como CCTrCH. Un CCTrCH puede mapearse en uno o varios canales físicos.

1.2.6.1.1 Codificación/multiplexación general de los canales de transporte.

Los datos llegan a la unidad codificadora/multiplexadora en forma de grupos de bloques de transporte una vez cada TTI (Time Transmission Interval, Intervalo de Tiempo de Transmisión). El TTI se toma del grupo {10ms, 20ms, 40ms, 80 ms} y es específico para cada canal de transporte. Se pueden identificar los pasos para codificación/multiplexación en la figura 1.8 [19].

Las señales de entrada y salida de cada subproceso que se observan en la figura 1.8 se describirán cuando se defina cada bloque.

1.2.6.1.2 Adición del CRC

La detección de error en los bloques de transporte se logra a través del CRC (Cyclic Redundancy Check, Código de Redundancia Cíclica). El tamaño del CRC puede ser de 24, 16, 12, 8 o 0 bits. Los niveles superiores señalizan que tamaño del CRC debe utilizarse para cada TrCH (Transport Channel, Canal de Transporte).

- *Calculo del CRC*

El bloque de transporte completo se utiliza para calcular los bits de paridad CRC para cada bloque de transporte. Los bits de paridad se generan haciendo uso de uno de los polinomios de las ecuaciones (1.3), (1.4), (1.5) y (1.6) [19]:

$$g_{CRC24} = D^{24} + D^{23} + D^6 + D^5 + D + 1 \quad (1.3)$$

$$g_{CRC16} = D^{16} + D^{12} + D^5 + 1 \quad (1.4)$$

$$g_{CRC12} = D^{12} + D^{11} + D^3 + D^2 + D + 1 \quad (1.5)$$

$$g_{CRC8} = D^8 + D^7 + D^4 + D^3 + D + 1 \quad (1.6)$$

Los bits en un bloque de transporte enviados al nivel 1 se denotan por $a_{im1}, a_{im2}, a_{im3}, \dots, a_{imA_i}$ y los bits de paridad se denotan por $p_{im1}, p_{im2}, p_{im3}, \dots, p_{imL_i}$. A_i es el tamaño del bloque de transporte del TrCH i , m es el numero de bloques de transporte, y L_i es el numero de bits de paridad. L_i puede tomar los valores 24, 16, 12, 8, o 0 dependiendo de cual sea el valor señalado por los niveles superiores. La codificación es desarrollada en una forma sistemática.

Si ningún bloque de transporte entra en el cálculo CRC ($M_i = 0$), no se debe realizar una adición CRC. Si algunos bloques de transporte entran en el cálculo CRC ($M_i \neq 0$) y el tamaño del bloque de transporte es cero ($A_i = 0$), se debe realizar la adición del CRC, por ejemplo en el caso en que todos los bits de paridad sean iguales a cero.

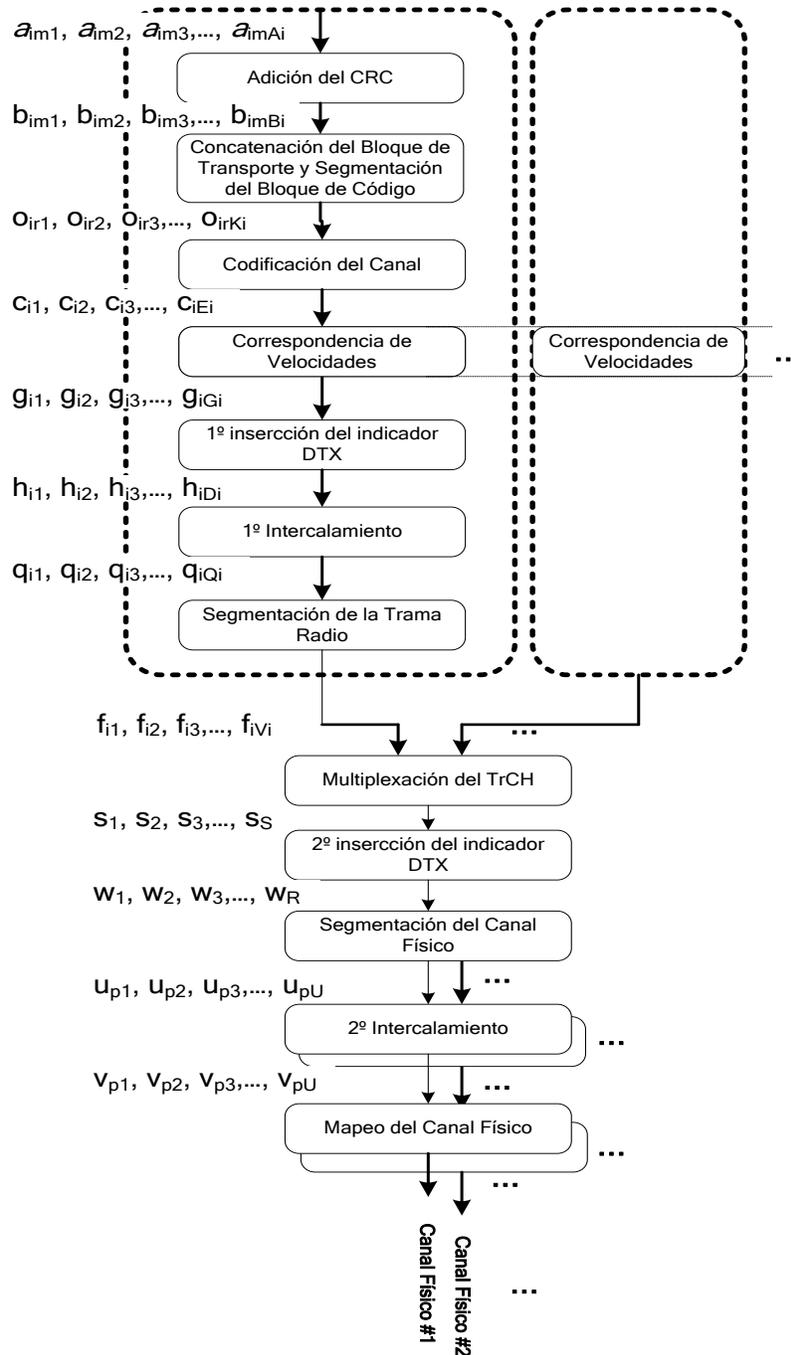


Figura 1.8 Estructura de multiplexación del canal de Transporte para el DL

- *Relación entre la entrada y la salida del bloque de adición CRC*

Después de la adición del CRC los bits se denotan por $b_{im1}, b_{im2}, b_{im3}, \dots, b_{imBi}$ donde $B_i = A_i + L_i$. La relación entre a_{imk} y b_{imk} se muestra en la ecuación (1.7) y (1.8).

$$b_{imk} = a_{imk} \text{ para } k = 1, 2, 3, \dots, A_i \quad (1.7)$$

$$b_{imk} = p_{im(L_i+1-(k-A_i))} \text{ para } k = A_i + 1, A_i + 2, A_i + 3, \dots, A_i + L_i \quad (1.8)$$

Un ejemplo del cálculo del CRC para cierta secuencia de bits de entrada se muestra en la sección 6.1 del anexo A.

1.2.6.1.3 Concatenación del bloque de transporte y segmentación del bloque de código

Todos los bloques de transporte en un TTI se concatenan serialmente. Si el número de bits en un TTI es más grande que Z , que es el máximo tamaño de un bloque de código, entonces se segmenta el bloque de código después de la concatenación de los bloques de transporte. El tamaño máximo de los bloques de código depende de si se utiliza codificación turbo o codificación convolucional para el TrCH [20].

- *Concatenación del bloque de transporte*

Los bits entrantes a la concatenación del bloque de transporte se denotan por $b_{im1}, b_{im2}, b_{im3}, \dots, b_{imB_i}$ donde i es el número de TrCH, m es el número de bloques de transporte, y B_i es el número de bits en cada bloque (incluyendo CRC). El número de bloques de transporte en el TrCH se denota por M_i . Los bits después de la concatenación se denotan por $x_{i1}, x_{i2}, x_{i3}, \dots, x_{iX_i}$, donde i es el número de TrCH y $X_i = M_i B_i$ (X_i tamaño del bloque concatenado). Estos se definen por las ecuaciones (1.9) y (1.10) [19]:

$$x_{ik} = b_{ik} \text{ para } k = 1, 2, 3, \dots, B_i \quad (1.9)$$

$$x_{ik} = b_{i, M_i(k - (M_i - 1)B_i)} \text{ para } k = (M_i - 1)B_i + 1, (M_i - 1)B_i + 2, \dots, M_i B_i \quad (1.10)$$

En otras palabras, los M_i bloques de transporte se concatenan uno tras otro respetando el orden de llegada al bloque.

- *Segmentación del bloque de código*

La segmentación de la secuencia de bits se desarrolla si el número de bits entrantes a la segmentación, X_i es mayor que Z , donde Z es el máximo tamaño del bloque de código. Los bloques de código después de la segmentación son del mismo tamaño. El número de bloques de código en el TrCH i se denotan por C_i . Si X_i no es un múltiplo de C_i , se deben añadir bits de relleno al comienzo del primer bloque. En caso contrario si se selecciona codificación turbo y $X_i > 40$, se deben añadir bits de relleno al comienzo del bloque de código, los bits de relleno se transmiten y siempre se fijan en 0. Los tamaños de bloques de código máximos son:

- Codificación convolucional: $Z = 504$.

- Codificación turbo: $Z = 5114$.

Los bits salientes de la segmentación del bloque de código, para $C_i \neq 0$, se denotan por $o_{ir1}, o_{ir2}, x_{ir3}, \dots, o_{irK_i}$, donde i es el número de TrCH, r es el número de bloques de código, y K_i es el número de bits por bloque de código como se define en la ecuación (1.11) [19].

$$K_i = \lfloor X_i/Z \rfloor \quad (1.11)$$

La descripción detallada del segmentador del bloque de código se muestra en la sección 3 del anexo A. La aplicación de la concatenación del bloque de transporte y segmentación del bloque de código se describe en la sección 2.4.1.1.2 del capítulo 2.

1.2.6.1.4 Codificación del canal

Los bloques de código son enviados al bloque de codificación del canal. Estos se denotan por $o_{ir1}, o_{ir2}, x_{ir3}, \dots, o_{irK_i}$, donde i es el número de TrCH, r es el número de bloques de código, y K_i es el número de bits en cada bloque de código. El número de bloques de código en un TrCH se denota por C_i . Después de codificados los bits se denotan por $y_{ir1}, y_{ir2}, y_{ir3}, \dots, y_{irY_i}$, Y_i es el número de bits codificados. La relación entre o_{irk} y y_{irk} , y entre K_i y Y_i depende del esquema de codificación del canal.

Los siguientes esquemas de codificación del canal pueden aplicarse a los TrCHs:

- Codificación convolucional.
- Codificación turbo.

La utilización de los esquemas de codificación y la velocidad de transmisión de codificación para diferentes tipos de TrCH se muestran en la tabla 1.3.

Tipo de TrCH	Esquema de Codificación	Velocidad de Codificación
BCH	Codificación Convolucional	1/2
PCH		
RACH		
DCH, FACH	Codificación Turbo	1/3

Tabla 1.3 Utilización del esquema de codificación del canal y velocidad de codificación

Los valores de Y_i para cada esquema de codificación se muestran a continuación (ecuaciones (1.12), (1.13) y (1.14)) [19]:

- Codificación convolucional con una velocidad de transmisión de 1/2: $Y_i = 2 * K_i + 16$ (1.12); velocidad de transmisión de 1/3: $Y_i = 3 * K_i + 24$ (1.13).

- Codificación turbo con una velocidad de transmisión de 1/3: $Y_i = 3 * K_i + 12$ (1.14).

- *Codificación convolucional*

Se definen códigos convolucionales con restricción de longitud de 9 y velocidades de transmisión de codificación de 1/3 y 1/2. La configuración del codificador convolucional se muestra en la figura 1.9 [19]. La salida del codificador convolucional con una velocidad de transmisión de 1/3 debe hacerse en el orden salida 0, salida 1, salida 2, ..., y la salida del codificador convolucional con velocidad de transmisión de 1/2 debe hacerse en el orden salida 0, salida 1. Ocho bits de cola con valor binario 0 deben añadirse al final del bloque de código antes de la codificación.

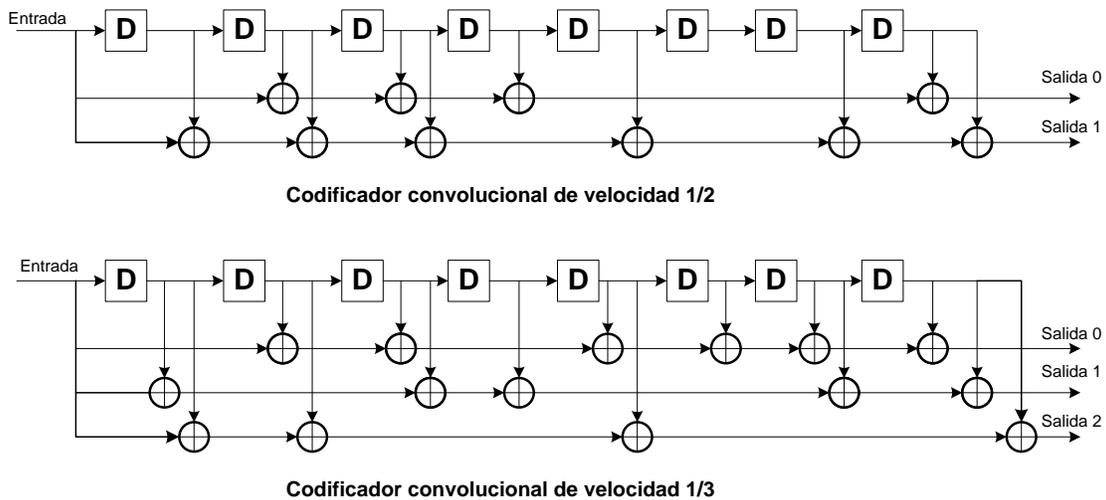


Figura 1.9 Codificadores convolucionales de velocidad 1/2 y 1/3.

Un código convolucional está especificado por tres parámetros (n, k, m) n es el número de bits de la palabra codificada, k es el número de bits de la palabra de datos, m es la memoria del código o longitud restringida

El número de bits por palabra de datos k , cumple: $k/n = R$. Este cociente es la denominada velocidad del codificador.

Para una mejor comprensión del funcionamiento de la codificación convolucional, se presenta un ejemplo en la sección 6.2 del anexo A.

- *Codificación Turbo*

La otra opción de codificación es la codificación turbo, este tipo de codificación es una innovación relativamente reciente, y brinda un mejor desempeño en comparación con la codificación convolucional, en especial para longitudes de bloque extensas.

Para construir este tipo de codificación se utilizan dos codificadores RSC (Recursive Systematic Convolutional, Convolucionales Sistemáticos Recursivos) con velocidades de 1/2, longitud restringida de $k=4$ y un generador polinomial de 1 y $G1/Go$ [20] con $G_1 = 15$ y $G_0 = 13$ octal [19], en paralelo con un intercalador entre ellos. Por cada bit a la entrada del codificador, a la salida se tienen dos bits, el primero de ellos es el bit entrante, a esta salida se le llama salida sistemática. La segunda salida, se nombra como salida de paridad, y se forma aplicando la operación XOR (“o” exclusiva) a los bits en una línea de retardo [19] [20], los dos códigos RSC toman los mismos bits de entrada pero el orden de estos se intercala entre los codificadores. De esta manera los bits de la salida sistemática, los bits de paridad y los bits de terminación Trellis (ver [20]) se transmiten dando aproximadamente una velocidad de 1/3, este proceso se observa en la figura 1.10. Al igual que los tradicionales códigos convolucionales, los códigos RSC pueden ser considerados como una maquina de estados con un diagrama de *Trellis*, y de esta manera pueden ser decodificados con el algoritmo de *Viterbi*.

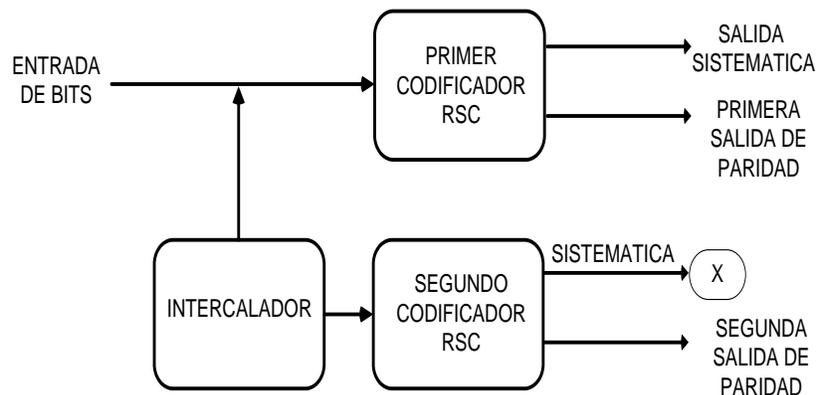


Figura 1.10 Esquema del codificador Turbo utilizado en WCDMA.

Soportar codificación y decodificación convolucional es obligatorio para los terminales UMTS, mientras que soportar codificación y decodificación turbo es opcional para estos. El proceso de codificación turbo no es relevante para el presente trabajo debido a que se va a utilizar la codificación convolucional en todo momento, una descripción detallada de este se encuentra en [19] y [20]

- *Concatenación de bloques codificados*

Después de la codificación del canal para cada bloque de código, si $C_i > 1$, los bloques codificados se concatenan serialmente de tal manera que el bloque con menor índice r es sacado primero del bloque de codificación del canal, de otra forma el bloque codificado es sacado del bloque de codificación del canal en la forma en que llegue. Los bits salientes se denotan por $c_{i1}, c_{i2}, c_{i3}, \dots, c_{iE_i}$, donde i es el número de TrCH y $E_i = C_i Y_i$. Los bits salientes se definen por las ecuaciones (1.15) y (1.16) [19]:

$$C_{ik} = y_{i1k} \text{ para } k = 1, 2, 3, \dots, Y_i \quad (1.15)$$

$$c_{ik} = y_{i,C_i(k-(C_i-1)Y_i)} \text{ para } k = (C_i - 1)Y_i + 1, (C_i - 1)Y_i + 2, \dots, C_i Y_i \quad (1.16)$$

Si ningún bloque de código entra a la codificación del canal ($C_i = 0$), ningún bit debe salir de la codificación del canal por ejemplo $E_i = 0$.

1.2.6.1.5 Correspondencia de velocidades de transmisión (Rate Matching).

La correspondencia de las velocidades de transmisión significa que los bits en un canal de transporte son repetidos o eliminados de forma selectiva (puncturing). Los niveles superiores asignan un atributo de correspondencia de velocidades de transmisión de datos para cada canal de transporte. Este atributo es semi-estático y solo puede ser cambiado a través de la señalización. El atributo de correspondencia de velocidades de transmisión de datos se utiliza cuando se calcula el número de bits que se va a repetir o se va a eliminar de forma selectiva. El número de bits en un canal de transporte puede variar entre diferentes TTI. En el DL la transmisión es interrumpida si el número de bits es menor que el máximo. La descripción matemática detallada del algoritmo de relacionamiento de velocidades se muestra en la sección 4 del anexo A. Por medio de la utilización de este algoritmo se define si en esta etapa se da eliminación selectiva de bits o se da repetición de bits.

1.2.6.1.6 Primera inserción de los bits de indicación de Transmisiones Discontinuas (DTX)

En el DL, se utiliza DTX para llenar la trama radio con bits. El punto de inserción de los bits de indicación DTX depende de si se utilizan posiciones fijas o flexibles de los TrCH en la trama radio. Depende de la red UTRA (UTRAN, UTRA Network) decidir si se utilizan posiciones fijas o flexibles durante una conexión para cada CCTrCH. Los bits DTX indican cuando debe detenerse la transmisión, en este caso estos bits no son transmitidos.

Este paso de insertar bits de indicación DTX se utiliza solo si las posiciones de los TrCH en la trama radio están fijas. Con un esquema de posiciones fijas un número fijo de bits se reserva para cada TrCH en la trama radio.

1.2.6.1.7 Primera operación de intercalamiento

El intercalamiento se usa para dividir los errores en el receptor, los cuales debido a la naturaleza de los canales radio tienden a ocurrir en ráfagas. En el receptor, el desintercalamiento divide las ráfagas de errores, mejorando la decodificación del canal. La mejor operación del decodificador se obtiene cuando el intercalamiento se da sobre un periodo tan grande como es posible, para así dividir los errores lo más ampliamente posible.

El primer intercalamiento es un intercalador de bloque con permutaciones entre columnas. La secuencia de bits entrantes al intercalador de bloque se denota por $x_{i1}, x_{i2}, x_{i3}, \dots, x_{iX_i}$, donde i es el número de TrCH y X_i el número de bits. Se garantiza que X_i es un múltiplo entero del número de

tramas radio en el TTI. La secuencia de bits de salida del bloque intercalador se obtiene de la siguiente forma:

1. Seleccionar el número de columnas $C1$ de la tabla 1.4 [19] dependiendo del TTI. Las columnas se enumeran $0, 1, \dots, C1 - 1$ de izquierda a derecha.
2. Determinar el número de filas de la matriz, $R1$ definida como $R1 = X_i/C1$. Las filas de la matriz se enumeran $0, 1, \dots, R1 - 1$ desde la parte superior hasta la parte inferior.
3. Escribir la secuencia de bits de entrada en la matriz $R1 \times C1$ fila por fila iniciando con el bit $x_{i,1}$ en la columna 0, fila 0 finalizando con el bit $x_{i,(R1 \times C1)}$ en la columna $C1 - 1$, fila $C1 - 1$ (ecuación (1.17) [19]).

$$\begin{bmatrix} x_{i,1} & x_{i,2} & x_{i,3} & \dots & x_{i,C1} \\ x_{i,(C1+1)} & x_{i,(C1+2)} & x_{i,(C1+3)} & \dots & x_{i,(2 \times C1)} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ x_{i,((R1-1) \times C1+1)} & x_{i,((R1-1) \times C1+2)} & x_{i,((R1-1) \times C1+3)} & \dots & x_{i,(R1 \times C1)} \end{bmatrix} \quad (1.17)$$

4. Desarrollar la permutación entre columnas para la matriz basada en el patrón $\langle P1_{C1}(j) \rangle_{j \in \{0,1,\dots,C1-1\}}$ mostrado en la tabla 1.4, donde $P1_{C1}(j)$ es la posición original de la j -ésima columna permutada. Después de la permutación de columnas, los bits se denotan por $y_{i,k}$ (ecuación (1.18))

$$\begin{bmatrix} y_{i,1} & y_{i,(R1+1)} & y_{i,(2 \times R1+1)} & \dots & y_{i,((C1-1) \times R1+1)} \\ y_{i,2} & y_{i,(R1+2)} & y_{i,(2 \times R1+2)} & \dots & y_{i,((C1-1) \times R1+2)} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ y_{i,R1} & y_{i,(2 \times R1)} & y_{i,(3 \times R1)} & \dots & y_{i,(C1 \times R1)} \end{bmatrix} \quad (1.18)$$

5. Leer la secuencia de bits de salida $y_{i,1}, y_{i,2}, y_{i,3}, \dots, y_{i,(C1 \times R1)}$ del intercalador de bloque columna por columna desde la matriz $(C1 \times R1)$ con permutación entre columnas. El bit $y_{i,1}$ corresponde a la columna 0, fila 0, y el bit $y_{i,(C1 \times R1)}$ corresponde a la columna $C1 - 1$, fila $R1 - 1$.

TTI	Numero de Columnas C1	Patrón de Permutación entre columnas $\langle P1_{C1}(0), P1_{C1}(1), \dots, P1_{C1}(C1 - 1) \rangle$
10 ms	1	<0>
20 ms	2	<0,1>
40 ms	4	<0,2,1,3>
80 ms	8	<0,4,2,6,1,5,3,7>

Tabla 1.4 Patrones de conmutación de columnas para el primer intercalamiento

En la sección 6.3 del anexo A se muestra un ejemplo del intercalamiento de bits, este ejemplo permite la comprensión de la descripción matemática descrita en esta sección.

1.2.6.1.8 Segmentación de la trama radio

Cuando el TTI es mayor que 10ms, la secuencia de bits de entrada es segmentada y mapeada en F_i tramas radio consecutivas. Siguiendo la correspondencia de las velocidades de transmisión en el DL y la ecualización del tamaño de la trama radio en el UL, se debe garantizar que la longitud de la secuencia de bits de entrada sea un múltiplo entero de F_i .

La longitud de la secuencia de bits de entrada se denota por $x_{i,1}, x_{i,2}, x_{i,3}, \dots, x_{i,X_i}$ donde i es el número de TrCH y X_i es el número de bits. Las secuencias de bits de salida por TTI se denotan por $y_{i,n_i,1}, y_{i,n_i,2}, y_{i,n_i,3}, \dots, y_{i,n_i,Y_i}$, donde n_i es el número de tramas radio en el TTI actual y Y_i es el número de bits por trama radio para el TrCH i . Las secuencias de salida se definen en la ecuación (1.19) [19]:

$$y_{i,n_i,k} = x_{i,(n_i-1)Y_i+k} \quad n_i = 1 \dots F_i, k = 1 \dots Y_i \quad (1.19)$$

Donde $Y_i = (X_i/F_i)$ es el número de bits por segmento. El $n_i - \text{ésimo}$ segmento es mapeado en la $n_i - \text{ésima}$ trama radio del TTI.

1.2.6.1.9 Multiplexación de los TrCH

Cada 10ms, una trama radio es enviada al multiplexor de TrCH. Estas tramas radio se multiplexan serialmente en un CCTrCH.

1.2.6.1.10 Segunda inserción de los bits de indicación DTX

Los bits de indicación DTX insertados en este paso deben ubicarse al final de cada trama radio. Se debe notar que el DTX se distribuirá sobre todas las ranuras después del segundo intercalamiento

1.2.6.1.11 Segmentación física del canal

Cuando se utiliza más de un canal físico, la segmentación física del canal divide los bits entre los diferentes canales físicos. Los bits entrantes a la segmentación física del canal se denotan por $x_1, x_2, x_3, \dots, x_X$, donde X es el número de bits de entrada al bloque de segmentación física del canal. El número de canales físicos se denotan por P . Los bits después de la segmentación física del canal se denotan por $u_{p,1}, u_{p,2}, u_{p,3}, \dots, u_{p,U}$, donde p es el número de canales físicos y U es el número de bits en una trama radio por cada canal físico, por ejemplo $U = X/P$. La relación entre x_k y $u_{p,k}$ se muestra a continuación.

Los bits del flujo de entrada se mapean en cada código hasta que el numero de bits en cada código sea U [19]. Todos los bits del flujo de entrada son tomados para ser mapeados en los códigos.

Bits en el primer canal físico después de la segmentación física del canal (ecuación 1.20).

$$u_{1,k} = x_k \text{ para } k = 1, 2, \dots, U \quad (1.20)$$

Bits en el segundo canal físico después de la segmentación física del canal (ecuación (1.21)).

$$u_{2,k} = x_{k+U} \text{ para } k = 1, 2, \dots, U \quad (1.21)$$

⋮

Bits en el P -ésimo canal físico después de la segmentación física del canal (ecuación (1.22)).

$$u_{p,k} = x_{k+(p-1) \times U} \text{ para } k = 1, 2, \dots, U \quad (1.22)$$

1.2.6.1.12 Segundo intercalamiento

El segundo intercalador es un intercalador de bloque que consiste de bits entrantes a la matriz con relleno, de permutaciones entre columnas, y de bits salientes de la matriz con reducción. Los bits entrantes al intercalador de bloque se denotan por $u_{p1}, u_{p2}, u_{p3}, \dots, u_{pU}$ donde p es el número de canales físicos y U es el número de bits en una trama radio para un canal físico. La secuencia de bits de salida del intercalador de bloque se deriva de la siguiente forma:

- Asignar $C2 = 30$ para que sea el número de columnas de la matriz. Las columnas de la matriz se enumeran $0, 1, 2, \dots, C2 - 1$ de izquierda a derecha.
- Determinar el número de filas de la matriz, $R2$, encontrando el mínimo entero $R2$ tal que: $U \leq R2 \times C2$ [19]. Las filas de la matriz rectangular se enumeran $0, 1, 2, \dots, R2 - 1$ desde la parte superior hasta la parte inferior.
- Escribir la secuencia de bits de entrada $u_{p1}, u_{p2}, u_{p3}, \dots, u_{pU}$, en la matriz $R2 \times C2$ fila por fila empezando con el bit $y_{p,1}$ en la columna 0, fila 0 (ecuación (1.23)).

$$\begin{bmatrix} y_{p,1} & y_{p,2} & y_{p,3} & \dots & y_{p,C2} \\ y_{p,(C2+1)} & y_{p,(C2+2)} & y_{p,(C2+3)} & \dots & y_{p,(2 \times C2)} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ y_{p,((R2-1) \times C2+1)} & y_{p,((R2-1) \times C2+2)} & y_{p,((R2-1) \times C2+3)} & \dots & y_{p,(R2 \times C2)} \end{bmatrix} \quad (1.23)$$

Donde $y_{p,k} = u_{p,k}$ para $k = 1, 2, \dots, U$ y si $R2 \times C2 > U$, los bits replica son rellenos de tal forma que $y_{p,k} = 0$ ó 1 para $k = U + 1, U + 2, \dots, R2 \times C2$. Estos bits replica son eliminados de la salida de la matriz después de la permutación entre columnas.

- Se desarrolla la permutación entre columnas para la matriz basada en el patrón $\langle P2(j) \rangle_{j \in \{0,1,\dots,C2-1\}}$ que se muestra en la tabla 1.5 [19], donde $P2(j)$ es la posición original de la j esima columna permutada. Después de la permutación de las columnas, los bits se denotan por $y'_{p,k}$ (ecuación (1.24)).

$$\begin{bmatrix} y'_{p,1} & y'_{p,(R2+1)} & y'_{p,(2 \times R2+1)} & \dots & y'_{p,((C2-1) \times R2+1)} \\ y'_{p,2} & y'_{p,(R2+2)} & y'_{p,(2 \times R2+2)} & \dots & y'_{p,((C2-1) \times R2+2)} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ y'_{p,R2} & y'_{p,(2 \times R2)} & y'_{p,(3 \times R2)} & \dots & y'_{p,(C2 \times R2)} \end{bmatrix} \quad (1.24)$$

- La salida del intercalador de bloque es la secuencia de bits tomada columna por columna desde la matriz permutada entre columnas $R2 \times C2$. La salida es reducida por medio de la eliminación de bits que fueron añadidos a la entrada de la matriz antes de la permutación entre columnas, por ejemplo los bits $y'_{p,k}$ que corresponden a los bits $y_{p,k}$ con $k > U$ son removidos de la salida. Los bits después del segundo intercalamiento se denotan por $v_{p,1}, v_{p,2}, v_{p,3}, \dots, v_{p,U}$, donde $v_{p,1}$ corresponde al bit $y'_{p,k}$ con el índice k más pequeño después de la reducción, $v_{p,2}$ corresponde al bit $y'_{p,k}$ con el segundo índice k más pequeño después de la reducción, y así sucesivamente.

Número de Columnas $C2$	Patrón de permutación entre Columnas $\langle P2(0), P2(1), \dots, P2(C2 - 1) \rangle$
30	< 0, 20, 10, 5, 15, 25, 3, 13, 23, 8, 18, 28, 1, 11, 21, 6, 16, 26, 4, 14, 24, 19, 9, 29, 12, 2, 7, 22, 27, 17 >

Tabla 1.5 Patrón de permutación de columnas para el segundo intercalamiento

1.2.6.1.13 Mapeo físico del canal

Los bits entrantes al mapeo físico del canal se denotan por $v_{p,1}, v_{p,2}, v_{p,3}, \dots, v_{p,U}$, donde p es el número de canales físicos y U es el número de bits en una trama radio para un canal físico. Los bits $v_{p,k}$ se mapean en los canales físicos de tal manera que los bits para cada canal físico se transmiten sobre el aire en orden ascendente con respecto a k .

En el DL, el canal físico no necesita llenarse completamente con bits que se transmiten sobre el aire. Los valores $v_{p,k} \in \{0,1\}$ corresponden a los indicadores DTX, los cuales son mapeados en los campos DPCCH/DPDCH pero no son transmitidos sobre el aire.

1.2.6.1.14 Multiplexación de diferentes canales de transporte en un CCTrCH, y mapeo de un CCTrCH en los canales físicos.

Las siguientes reglas se deben aplicar a los diferentes canales de transporte que son parte del mismo CCTrCH [20]:

1. Los canales de transporte multiplexados en un CCTrCH deben tener una temporización coordinada.
2. Solo los canales de transporte con el mismo grupo activo pueden mapearse en el mismo CCTrCH.
3. Diferentes CCTrCH no pueden mapearse en el mismo canal físico.
4. Un CCTrCH se puede mapear en uno o varios canales físicos. Estos canales físicos deben tener el mismo SF. Los canales de transporte dedicados y los canales de transporte comunes no pueden multiplexarse en el mismo CCTrCH.
5. Para los canales de transporte comunes, solo el FACH y el PCH pueden pertenecer al mismo CCTrCH.

Por esta razón existen dos tipos de CCTrCH [20]:

1. CCTrCH de tipo dedicado, correspondiente al resultado de la codificación y multiplexación de uno o varios DCH.
2. CCTrCH de tipo común, correspondiente al resultado de la codificación y multiplexación de un canal común, RACH en el UL, BCH, o FACH/PCH para el DL.

1.2.6.1.15 Detección del formato de transporte

Si el grupo de formatos de transporte de un TrCH contiene más de un formato de transporte, el formato de transporte puede detectarse de acuerdo a uno de los siguientes métodos:

- Detección basada en TFCI: Este método se puede aplicar cuando la combinación del formato de transporte es señalizada utilizando el campo TFCI.
- Detección explícita no visible: Este método típicamente consiste en la detección del TF de un TrCH por medio de la utilización de la decodificación del canal y la verificación del CRC.
- Detección guiada: Este método se puede aplicar cuando hay al menos otro TrCH i' , llamado TrCH guía, tal que el TrCH guía tiene la misma duración en el TTI que el TrCH bajo consideración.

1.2.6.2 Ensanchamiento y modulación en el Downlink

1.2.6.2.1 Codificación (Scrambling)

Parte del proceso de ensanchamiento en el transmisor es la operación de codificación. Esta se necesita para separar terminales ó estaciones base entre sí. La codificación se utiliza después del ensanchamiento, así que no cambia el ancho de banda de la señal. Con la codificación, no importa si el ensanchamiento fue realizado con códigos idénticos para diferentes transmisores. La figura 1.11 [9] muestra la relación entre la velocidad de chip en el canal para ensanchamiento y codificación en

UTRA. Como la velocidad de Chip se logra ya en el ensanchamiento por los códigos de canalización, la velocidad de símbolo no se ve afectada por la codificación, en la sección 1.2.6.2.2 se explican los códigos de canalización.

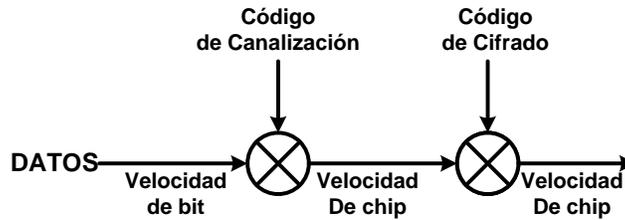


Figura 1.11 Relación entre ensanchamiento y codificación

1.2.6.2.2 Códigos de Canalización

Las transmisiones de una fuente se separan individualmente por los códigos de canalización, por ejemplo en el DL las conexiones dentro de un sector se separan por medio de los códigos de canalización, mientras que en el UL estos códigos permiten separar los canales DPCH de un terminal específico. Los códigos de canalización (ó códigos de ensanchamiento) de WCDMA se basan en códigos OVVSF (Orthogonal Variable Spreading Factor, Ortogonales con Factor de Expansión Variable). El uso de códigos OVVSF permite que el factor de ensanchamiento cambie pero que se mantenga la ortogonalidad entre diferentes códigos de ensanchamiento de diferentes longitudes. Estos códigos se toman del árbol de códigos, el cual se ilustra en la figura 1.12 [21]. Cada nivel n del árbol define n códigos ortogonales con factor de ensanchamiento $SF = n$ que forman las n ramas de dicho nivel.

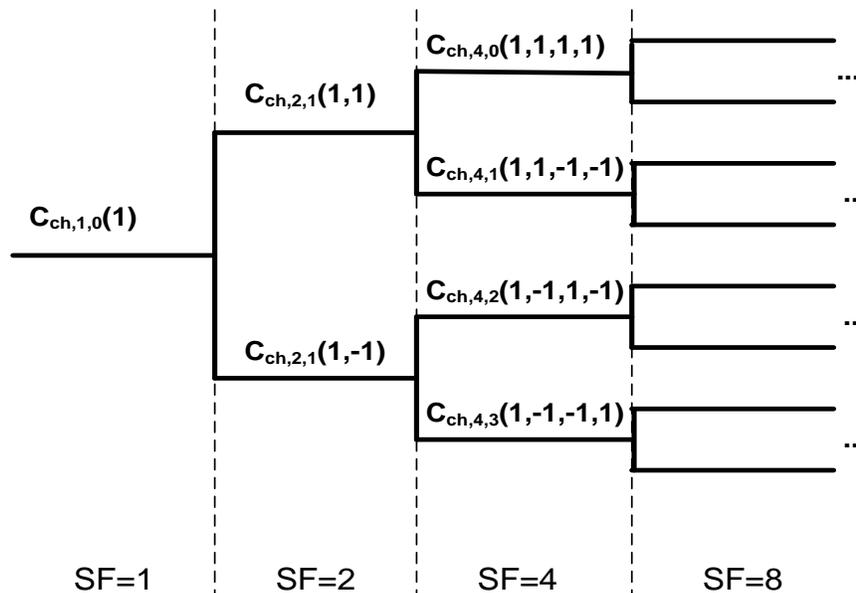


Figura 1.12 Árbol de códigos de canalización

El número de códigos ortogonales es de 512 para el DL y 256 para el UL. En la práctica bajo una situación concreta, el número de códigos utilizables es bastante menor debido a que estos códigos tiene la siguiente limitación: Si una celda para un usuario/servicio específico usa un código determinado, quedan eliminados todos los códigos que pertenezcan a esa rama, cuanto menor sea el SF un mayor número de códigos quedarán eliminados. De aquí que en un a celda el numero de códigos utilizable no es fijo sino que depende de los SF utilizados en la celda [22].

1.2.6.2.3 Modulación y Ensanchamiento

La figura 1.13 [23] ilustra la operación de modulación y ensanchamiento para todos los canales físicos excepto el SCH. La operación de ensanchamiento incluye una etapa de modulación seguida de una etapa de canalización, una etapa de combinación IQ y una etapa de codificación.

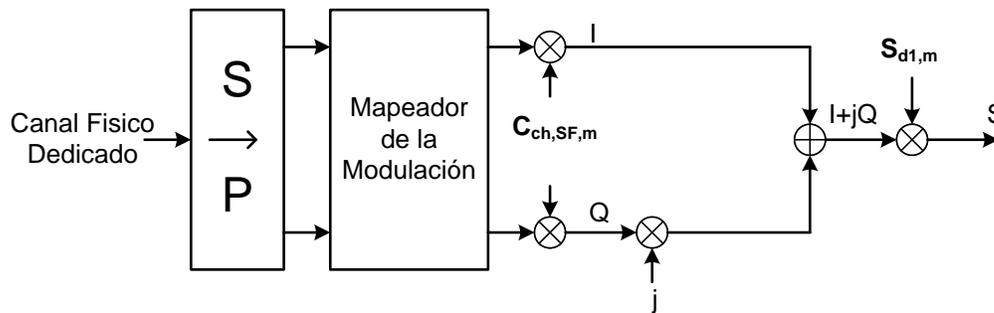


Figura 1.13 Ensanchamiento para todos los canales físicos excepto SCH

- *Modulación*

El término modulación en WCDMA hace referencia al mapeo de los bits de entrada sobre las ramas IQ de una constelación QPSK (Quadrature Phase Shift Keying, Modulación por Desplazamiento de Fase en Cuadratura) (ó 16QAM (16 - Quadrature Amplitude Modulation, Modulación de amplitud en cuadratura nivel 16) como se considera en el release 5), el resultado es una secuencia compleja que afectara la fase de la portadora. En el presente documento se utilizará el término “modulación” para referirse a este proceso y “demodulación” para referirse al proceso inverso.

Los canales físicos no ensanchados (excepto SCH, AICH, AP-AICH y CD/CA-ICH, ver figura 1.5 sección 1.2.5.1) consisten de una secuencia de dígitos que toman los valores de 0, 1 y “DTX” (DTX se aplica solo a aquellos canales que soportan la transmisión DTX, ver [18]). Antes de la operación de ensanchamiento, estos son mapeados a símbolos de valor real (Modulados) por el mapeador de la modulación de la siguiente forma [21]:

- El valor binario “0” se mapea al valor real +1
- El valor binario “1” se mapea al valor real -1
- DTX se mapea al valor real 0

El proceso es idéntico en cada rama, lo que después del ensanchado (siguiente apartado) y la combinación IQ luce como una modulación QPSK tradicional, ver figura 1.14.

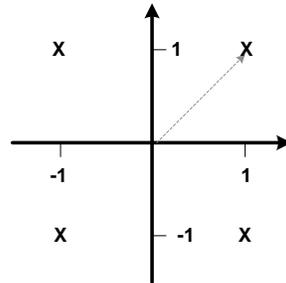


Figura 1.14 Modulación QPSK

- *Canalización*

CDMA utiliza el método DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum, Espectro Ensanchado por Secuencia Directa) el que se describe continuación. Para todos los canales físicos (excepto SCH) las ramas I y Q serán ensanchadas a la velocidad de transmisión de chip (3.48 Mcps) por el mismo código de canalización $C_{ch,SF,m}$ [21], por ejemplo la salida para cada símbolo de entrada en las ramas I y Q será una secuencia de SF chips que corresponde a la secuencia de chip del código de canalización multiplicado por el símbolo de valor real. La secuencia de códigos de canalización real se alinearán en el tiempo con el límite de símbolos (figura 1.13).

- *Combinación IQ*

La secuencia de chips de valor real en la rama Q será multiplicada complejamente con j para luego adicionarse con la secuencia de chips de valor real en la rama I, como resultado se obtiene una secuencia de valor complejo simple (figura 1.13).

- *Codificación (Scrambling)*

La secuencia de chips de valor complejo se codificará (multiplicación compleja de chips) por un código de encriptación (codigo de Scrambling) complejo $S_{dl,n}$ [21] (figura 1.13).

- *Combinación de canales*

La figura 1.15 ilustra como diferentes canales del DL se combinan. Cada canal ensanchado, que corresponde al punto S en la figura 1.13, puede ser medido separadamente por el factor de peso G_i . Los P-SCH (Primary-SCH, SCH Primario) y S-SCH (Secondary-SCH, SCH Secundario) (de valor complejo), pueden ser medidos separadamente por el factor de peso G_p y G_s . Todos los canales físicos se combinan usando la adicción compleja [21] [22].

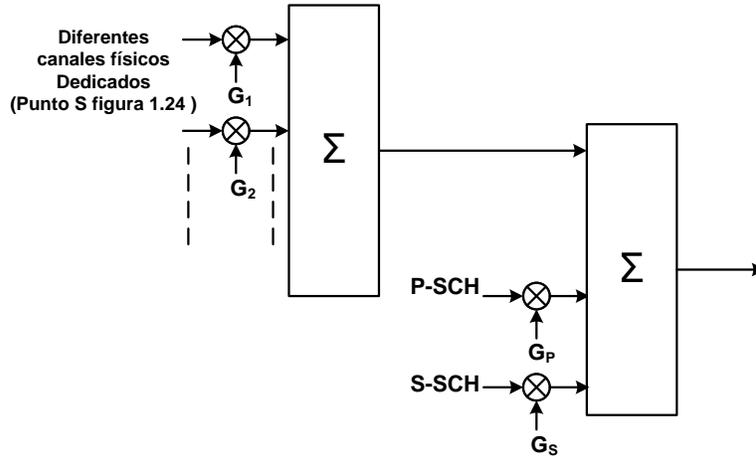


Figura 1.15 Combinación de los canales físicos del DL

1.2.6.2.4 Generación y asignación de códigos

- *Códigos de canalización*

La generación de códigos de canalización es sencilla, de la figura 1.12 en la que se muestra el árbol de códigos de canalización se ve que de cada rama del árbol emergen dos códigos de canalización, en el primer código se duplican los chips de la rama de origen (código origen), y en el segundo código se duplican los chips al igual que en el primer código, pero se realiza un cambio de signo a los chips duplicados [22], matemáticamente este proceso se observa en las ecuaciones (1.25), (1.26) y (1.27).

$$C_{ch,1,0} \quad (1.25)$$

$$\begin{bmatrix} C_{ch,2,0} \\ C_{ch,2,1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_{ch,1,0} & C_{ch,1,0} \\ C_{ch,1,0} & -C_{ch,1,0} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix} \quad (1.26)$$

$$\begin{bmatrix} C_{ch,2^{(n+1)},0} \\ C_{ch,2^{(n+1)},1} \\ C_{ch,2^{(n+1)},2} \\ C_{ch,2^{(n+1)},3} \\ \vdots \\ C_{ch,2^{(n+1)},2^{(n+1)}-2} \\ C_{ch,2^{(n+1)},2^{(n+1)}-1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_{ch,2^n,0} & C_{ch,2^n,0} \\ C_{ch,2^n,0} & -C_{ch,2^n,0} \\ C_{ch,2^n,1} & C_{ch,2^n,1} \\ C_{ch,2^n,1} & -C_{ch,2^n,1} \\ \vdots & \vdots \\ C_{ch,2^n,2^{n-1}} & C_{ch,2^n,2^{n-1}} \\ C_{ch,2^n,2^{n-1}} & -C_{ch,2^n,2^{n-1}} \end{bmatrix} \quad (1.27)$$

En la sección 6.4 del anexo A se muestra un ejemplo de la generación de los códigos de canalización para una rama (código) específico.

- *Código de encriptación*

En total se pueden generar $2^{18} - 1 = 262,143$ códigos de encriptación, numerados $0 \dots 262,142$. Sin embargo no todos los códigos de encriptación se utilizan. Los códigos de encriptación se dividen en 512 grupos, cada uno con un código primario de codificación y 15 códigos secundarios de codificación.

Los códigos primarios de encriptación consisten de códigos de ensanchamiento $n = 16 * i$ donde $i = 0 \dots 511$. El i -ésimo grupo de códigos de encriptación consiste en $16 * i + k$, donde $k = 1 \dots 15$ [9].

Existe un mapeo uno a uno entre cada código primario de encriptación y 15 códigos secundarios de encriptación en un grupo tal que el i -ésimo código de primario corresponde al i -ésimo grupo de códigos secundarios de encriptación.

En el caso de que se configure el F-DPCH (Fractional-DPCH, DPCH Fraccional) en el DL, el mismo código de codificación y el mismo código OVSF deben utilizarse en las tramas comprimidas F-DPCH y en las tramas normales.

El grupo de códigos primarios de encriptación se dividen además en 64 grupos de códigos de encriptación cada uno consiste de 8 códigos primarios de codificación. El j -ésimo grupo de códigos de encriptación consiste de los códigos primarios de encriptación $16 * 8 * j + 16 * k$, donde $j = 0 \dots 63$ y $k = 0 \dots 7$ [9].

A cada celda se le asigna uno y solo uno de los códigos primarios de encriptación. El CCPCH primario, CPICH, PICH y AICH en el cual se mapea el PCH serán siempre transmitidos utilizando el código primario de encriptación. Otros canales físicos del DL pueden ser transmitidos con un código primario de encriptación ó con un código secundario de encriptación de un grupo asociado con el código primario de encriptación de la celda.

La mezcla de un código primario de encriptación y no más de un código secundario de encriptación para un CCTrCH es permitida. En cada celda el UE puede ser configurado simultáneamente con al menos dos códigos de encriptación.

Las secuencias de códigos de encriptación están construidas por la combinación de dos secuencias reales dentro de una secuencia compleja [21]. Cada una de las dos secuencias reales es construida como el modulo 2 de dos m-secuencias binarias generadas por medio de dos polinomios generadores de grado 18 mas 38400 segmentos de chip. La secuencia resultante constituye así segmentos de un grupo de secuencias Gold. Los códigos de encriptación son repetidos por cada trama radio de 10ms.

En la sección 5 del anexo A se muestra la descripción matemática detallada de la generación de los códigos de encriptación, específicamente de las secuencias de códigos de encriptación.

1.2.6.3 Canales Radio Multitrayecto y Recepción

La propagación en los canales móviles terrestres se caracteriza por múltiples reflexiones, difracciones, dispersión y atenuación de la energía de la señal. Estos son causados por obstáculos naturales como edificios, colinas, entre otros, que resulta en la así llamada propagación multitrayecto. La propagación multitrayecto se divide en desvanecimiento lento el cual es causado por sombras producidas por grandes obstrucciones como montañas ó edificios que obscurecen el trayecto principal entre transmisor y receptor, el cambio de la amplitud y de fase se mantiene ampliamente constante durante un periodo de tiempo relativamente grande, en este tipo de desvanecimiento una variación profunda de la señal puede todo el tiempo de transmisión por lo que no es fácil eliminarlo y se recurre a estrategias de planeación celular para evitarlo. El otro tipo de desvanecimiento es el rápido el cual es el más común, en este el cambio de la amplitud y la fase de la señal varía considerablemente sobre un corto periodo de tiempo. Hay dos efectos que resultan de la propagación multitrayecto¹² y estos son:

1. La energía de la señal (que pertenece, por ejemplo, a un solo chip de la forma de onda CDMA) puede llegar al receptor a través de instantes de tiempo claramente distinguibles. La energía que llega es “manchada” dentro de un cierto perfil de retardo multitrayecto. Un ejemplo se muestra en la figura 1.16 [9].
2. El perfil de retardo se extiende típicamente de 1 a 2 μs en áreas urbanas y suburbanas, aunque en algunos casos el retardo puede ser tan largo como 20 μs en áreas montañosas. La duración de chip en 3.84Mcps es de 0.26 μs , si la diferencia de tiempo de los componentes es de al menos 0.26 μs , el receptor WCDMA puede separarlos y combinarlos coherentemente para obtener diversidad multitrayecto. El retardo de 0.26 μs se puede obtener si la diferencia entre los trayectos es al menos de 78 m (*igual a velocidad de la luz / velocidad de chip = $3 * 10^8 m/s / 3.84 Mcps$*). Con una velocidad de chip de alrededor de 1Mcps, la diferencia en la longitud de los trayectos de los componentes multitrayecto debe ser de alrededor de 300 m , el cual no puede ser obtenido en celdas pequeñas. Por lo tanto, se ve que WCDMA a 5 MHz provee diversidad multitrayecto en celdas pequeñas (Lo cual no es posible con cdmaone).

¹² En adelante se referirá al “desvanecimiento multitrayecto rápido” como desvanecimiento “multitrayecto”, ya que este es el único que se va a tratar en el documento.

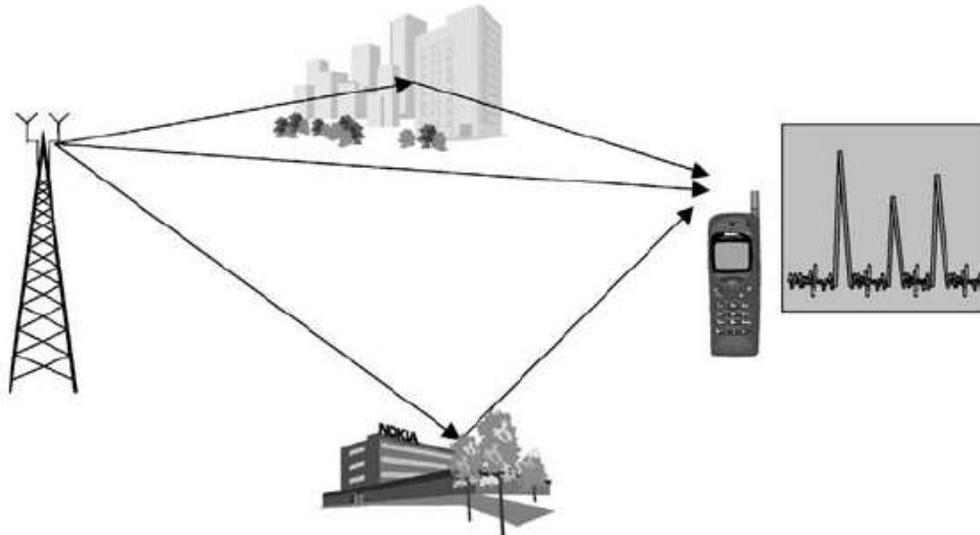


Figura 1.16 Perfil de retardo multitrayecto.

3. Para cierta posición del retardo de tiempo hay usualmente muchos trayectos de longitud casi igual a lo largo de los cuales la señal viaja. Por ejemplo trayectos con una diferencia de longitud de media longitud de onda (en 2 GHz esto es aproximadamente 7 *cm*) llegan virtualmente en el mismo instante, comparado con la duración de un solo chip, el cual es 78 *m* a 3.84 Mcps. Como resultado se da la cancelación de la señal (desvanecimiento rápido ó fast fading), esto toma lugar cuando el receptor se mueve a través de incluso distancias cortas. La cancelación de la señal es mejor entendida como una suma de varios fasores que describen el cambio de fase (usualmente la magnitud de la longitud de onda radio) y la atenuación a lo largo de cierto trayecto en cierto instante de tiempo.

La figura 1.17 [9] muestra un patrón de desvanecimiento rápido como se percibiría para una señal de energía en una posición de retardo particular mientras el receptor se mueve. Como se ve en la figura la potencia de la señal recibida puede descender considerablemente (por 20-30 *dB*) cuando ocurre cancelación de fase de reflexiones multitrayecto. Debido a la geometría subyacente que causa el fenómeno de desvanecimiento y dispersión, las variaciones de la señal por causa del desvanecimiento rápido ocurren varios ordenes de magnitud más frecuentemente que los cambios en el perfil de retardo multitrayecto promedio. Las estadísticas de energía de la señal recibida para un promedio de termino corto son usualmente bien descritas por la distribución de Rayleigh. Estas caídas bruscas del desvanecimiento hacen que la recepción de datos libres de errores sea muy difícil, por lo que se deben tomar ciertas medidas para la prevención de este tipo de desvanecimientos en WCDMA, entre las que se incluyen:

- 1 La energía de cada retardo se combina utilizando múltiples dedos Rake (receptores correlacionados) que se asignan a los retardos sobre los cuales llega la energía.

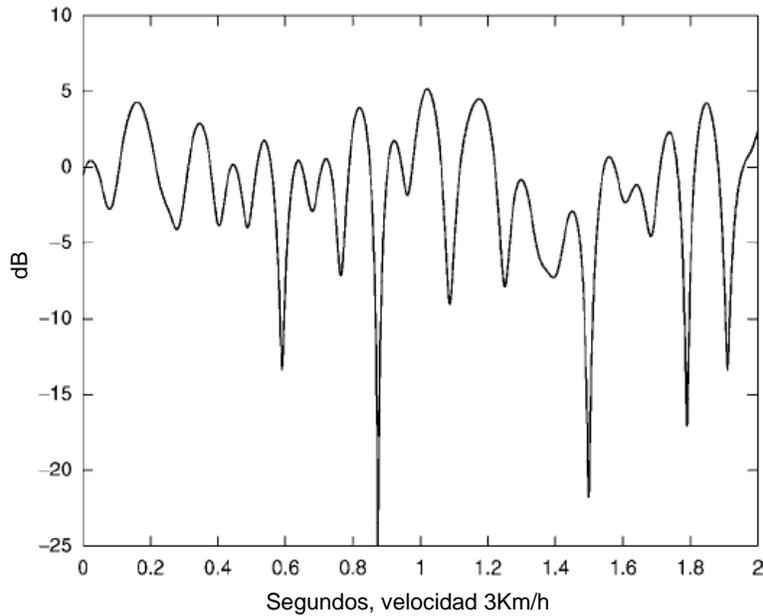


Figura 1.17 Desvanecimiento rápido de Rayleigh causado por la propagación multitrayecto.

- 2 El control rápido de potencia y la recepción de diversidad inherente del receptor Rake se usa para mitigar el problema del desvanecimiento de la señal.
- 3 La codificación e intercalamiento, y los protocolos de retransmisión se usan para adicionar redundancia y diversidad de tiempo a la señal y así ayudar al receptor en la recuperación de los bits de usuario a través de los desvanecimientos.

Las dinámicas de la propagación sugieren el siguiente principio de operación para la recepción de la señal CDMA [9].

1. Identificar las posiciones de retardo de tiempo en las cuales llega una energía apreciable y asignar los receptores de correlación, es decir los dedos Rake, para esos picos. La capacidad para adquirir el perfil de retardo multitrayecto esta en el orden de la duración de un chip (típicamente dentro del rango de 1/4 a 1/2 de la duración de chip) con una velocidad de actualización del orden de algunas decenas de milisegundo.
2. Dentro de cada receptor correlacionado, se siguen los cambios rápidos de fase y valores de amplitud que originan del proceso de desvanecimiento rápido y se remueven. Este proceso de seguimiento tiene que ser muy rápido, con una velocidad de actualización de 1 *ms* ó menos.
3. Combinar los símbolos demodulados y ajustados en fase a través de todos los dedos activos y presentarlos al decodificador para los procesos adicionales.

La figura 1.18 ilustra los puntos 2 y 3 para la representación de los símbolos (QPSK) además del estado instantáneo del canal representado como la magnitud del fasor complejo. Para facilitar el punto 2, WCDMA usa símbolos pilotos conocidos que se utilizan para sondear el canal y para proveer una estimación del estado momentáneo del canal (valor de la magnitud del fasor) para un dedo en particular. Entonces el símbolo recibido es rotado, para compensar la rotación de fase causada en el canal. Tales símbolos compensados en el canal pueden ser simplemente sumados juntos para recuperar energía a través de todas las posiciones de retardo. Este proceso se conoce también como MRC (Maximal Ratio Combining, Combinación de Relación Máxima) [9].

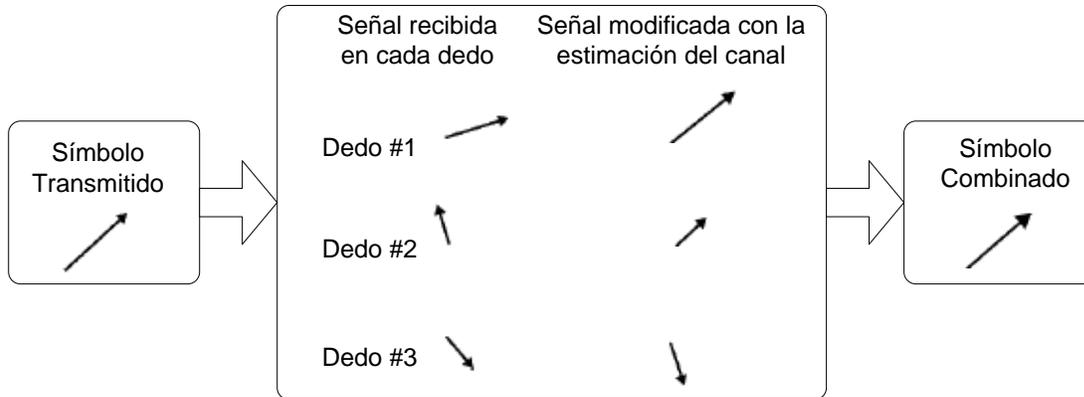


Figura 1.18 Principio de combinación de relación máxima en el receptor Rake.

La figura 1.19 [22] muestra el diagrama de bloques de un receptor Rake con tres dedos de acuerdo a los principios descritos anteriormente. Las tramas de entradas digitales se reciben desde el circuito RF en forma de ramas I y Q. Los generadores de código y correlacionadores realizan el desensanchamiento y decodificación de los símbolos de datos de usuario.

El estimador del canal utiliza los símbolos piloto para la estimación del estado o comportamiento del canal. Esta estimación del canal es removida por el rotador de fase de los símbolos recibidos. El retardo es compensado por la diferencia entre los tiempos de llegada de los símbolos en cada dedo. El combinador Rake suma los símbolos de los canales compensados, así provee diversidad multitrayecto contra el desvanecimiento. También se muestra un filtro relacionador utilizado para determinar y actualizar el perfil actual de retardo del canal. Esta medida y posiblemente el perfil de retardo multitrayecto promediado se utilizan para asignar los dedos Rake al pico de mayor tamaño.

En una implementación típica del receptor Rake, el procesamiento a la tasa de chip (corelacionador, generador de código, filtro de relacionado) se hace con ASICs (Aplicación Specific Integrated Circuit, Circuito Integrado de Aplicaciones Específicas), mientras que el procesamiento a nivel de símbolo (estimador del canal, rotador de fase, combinador) se implementa con un DSP (Digital Signal Processor, Procesador Digital de Señales). Aunque hay varias diferencias entre el receptor Rake WCDMA en la estación móvil y estación base, todos los principios básicos presentados aquí son iguales.

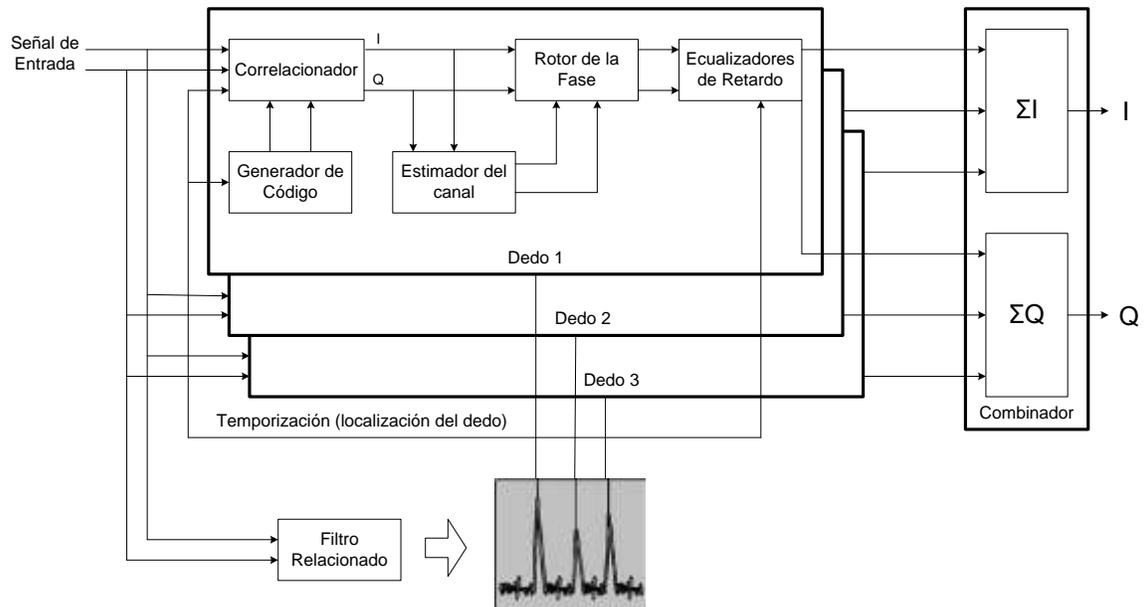


Figura 1.19 Diagrama de bloques del receptor Rake.

Finalmente, se ve que las antenas de recepción múltiple, pueden ser acomodadas en la misma forma que los receptores de trayecto múltiple con una sola antena: por la sola adición de dedos Rake adicionales a las antenas, se podrá recibir toda la energía de múltiples trayectos y antenas. Desde la perspectiva del receptor Rake, no hay esencialmente diferencia entre estas dos formas de diversidad de recepción.

CAPITULO 2

APLICACIÓN Y ADAPTACION DE LA METODOLOGIA DE SIMULACIÓN DE EQUIPOS DE TELECOMUNICACIONES A LA SIMULACIÓN DE WCDMA EN EL DL EN MODO FDD

2.1 INTRODUCCIÓN

El presente capítulo contiene la aplicación y adaptación de la metodología de simulación de equipos de telecomunicaciones [24] para la formulación de un modelo conceptual y un modelo de simulación de un enlace de tráfico de voz unidireccional BS - UE a 12.2 kbps a nivel físico del sistema WCDMA en el modo FDD.

La implementación del modelo resultante se hará en el ambiente de simulación Simulink de Matlab® [25]. Los análisis y resultados obtenidos estarán enfocados hacia este objetivo.

2.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

2.2.1 Adquisición de información sobre el funcionamiento del sistema

A continuación se da respuesta a una serie de preguntas con el objeto de recolectar información acerca del funcionamiento general del sistema, de los atributos y características del sistema y de las señales que serán procesadas.

El sistema estará conformado por los siguientes subsistemas: estación base en modo transmisión, medio de transmisión y equipo de usuario en modo recepción.

2.2.1.1 Subsistema: estación base en modo transmisión [26]

- ¿Qué tipo de señales va a procesar el subsistema?
En la estación base en modo transmisión se recibirá una señal digital de entrada correspondiente a la señal de datos del canal de transporte DCH a 12.2Kbps (voz) con un TTI¹³ de 20ms. Este canal a su vez ha sido formado por los canales DCCH y el DTCH con tamaños de bloque de transporte de 100 y 244 bits respectivamente. El subsistema entregará una señal digital, modulada y de espectro ensanchado con un ancho de banda de 5 MHz.

¹³ En UMTS release 99 (WCDMA) el TTI más pequeño es 10ms y puede también tomar los valores de 20ms, 40ms, o 80ms. En UMTS Release 5 el TTI para HSDPA se reduce a 2ms.

- ¿Qué pasos sigue el subsistema para el procesamiento de las señales en cuestión?
Para obtener una señal de espectro ensanchado con ancho de banda de 5MHz se sigue el siguiente proceso:
 - Codificación y multiplexación del canal de transporte
A la señal recibida se le calcula y añade el CRC, se concatena el bloque de transporte y se segmenta el bloque de código, se codifica el canal, se hace la correspondencia de velocidades de transmisión, se realiza el primer intercalamiento, se segmenta la trama radio y finalmente se da la multiplexación de varios canales de transporte en un CCTrCH.
 - Mapeo de los canales físicos
Se recibe el CCTrCH se da la segmentación física del canal, se realiza el segundo intercalamiento, se añaden el TFCl, los bits de control de potencia y los bits pilotos, y por último se construyen los campos de la trama.
 - Modulación¹⁴ y ensanchamiento
Primero se modula el canal y se introducen canales comunes, seguidamente se realiza el ensanchamiento por un código OVSF de valor real, posteriormente se codifica el canal por una secuencia de código gold de valor complejo, se estima la potencia de cada canal y por ultimo se desarrolla la formación de pulsos.
- ¿Qué factores serán evaluados durante la simulación?
Se observará y evaluará los siguientes factores:
 - Velocidad de datos y dimensión de las señales antes y después de cada proceso y subproceso.
 - Espectro de frecuencias antes y después del ensanchamiento.
 - El efecto de la codificación sobre la señal.
 - El efecto de la modulación y de cambios de esta sobre la señal.

2.2.1.2 Subsistema: medio de transmisión [27]

- ¿Qué tipo de señales va a procesar el subsistema?
El medio de transmisión recibirá una señal de espectro ensanchado con un ancho de banda de 5 MHz y entregará una señal de espectro ensanchado afectada por AWGN (Additive White Gaussian Noise, Ruido Gaussiano Blanco Aditivo), y/o el desvanecimiento por multitrayectoria.
- ¿Qué pasos sigue el subsistema para el procesamiento de las señales en cuestión?
- Aplicación de las características de desvanecimiento por multitrayectoria.

¹⁴ En el la sección 1.2.6.2.3 del capítulo 1 se define el concepto de modulación en WCDMA y debe entenderse igual en este capítulo.

La señal de entrada se somete a trayectos independientes lo que implica atenuación y retardos diferentes, y luego se suman las contribuciones de cada trayecto para conformar una sola señal de salida.

- Adición de ruido.

A la señal de entrada se le adiciona una componente de AWGN¹⁵ para obtener una señal afectada por ruido.

- ¿Qué factores serán evaluados durante la simulación?

Con la simulación del medio de transmisión se observarán los siguientes factores:

- Espectro de frecuencias de la señal antes del medio de transmisión.

- Espectro de frecuencias de la señal después del medio de transmisión.

2.2.1.3 Subsistema: equipo de usuario en modo recepción [27]

- ¿Qué tipo de señales va a procesar el subsistema?

Se recibirá una señal de espectro ensanchado afectada por AWGN y/o desvanecimiento multitrayecto, y se entregará una señal digital correspondiente a la señal de datos del canal de transporte DCH a 12.2Kbps (voz) con TTI de 20ms, que será la señal recuperada.

- ¿Qué pasos sigue el subsistema para el procesamiento de las señales en cuestión?

- Demodulación y desensanchamiento.

Se filtra la señal con un filtro de raíz de coseno alzado (RRC, Root Raised Cosine), la señal pasa por el receptor tipo Rake, después de lo cual la señal se demultiplexa y se desensancha, reconstruyendo los campos de la trama.

- Desmapeo (recuperación) de los canales físicos.

Se retiran el TFICI, los bits de control de potencia y los bits piloto, se realiza el segundo desintercalamiento y se concatena el canal físico.

- Decodificación y Demultiplexación del canal de transporte

Se concatena la trama radio, se realiza el primer desintercalamiento, se hace el procedimiento inverso a la correspondencia de velocidades, se decodifica el canal, se concatena el bloque de código y se segmenta el bloque de transporte, y por último se verifica el CRC.

- ¿Qué factores serán evaluados durante la simulación?

- Velocidad de datos y dimensión de las señales después de cada proceso y subproceso.

- Espectro de frecuencias de la señal antes y después del filtraje de banda base que se realiza por medio del filtro de raíz de coseno alzado.

¹⁵ Si se da el fenómeno de desvanecimiento multitrayecto, entonces se añade AWGN independientemente a cada trayecto o camino.

- Espectro de frecuencias antes y después del desensanchamiento.
- BER entre los datos de entrada a la estación base en modo transmisión y los datos de salida del equipo de usuario en modo recepción.

2.2.2 Fines de la simulación

El propósito de esta simulación es mostrar los diferentes procesos tales como modulación, codificación y ensanchamiento en el downlink para el sistema WCDMA a nivel físico operando en el modo FDD, y la reacción del sistema a cambios en los parámetros de configuración de estos procesos. Se obtendrá un modelo del sistema WCDMA entre la BS (transmisión) y el UE (Recepción) para tráfico de voz y de datos siguiendo la metodología de moldeamiento y simulación [24].

2.2.3 Formulación de los objetivos de la simulación

- Analizar el desempeño del DL en el sistema WCDMA por medio del análisis de parámetros como la BER tomando en cuenta variaciones del canal de transmisión y de parámetros propios del sistema.
- Analizar los esquemas de los procesos de modulación, codificación, mapeo, y variación de estos esquemas dentro del procesamiento de la señal para el downlink.
- Determinar si el modelo implementado representa adecuadamente al sistema por medio de la verificación de parámetros tales como las velocidades de datos, las dimensiones de las señales después de cada proceso, los espectros de frecuencia resultantes y las diferentes BER para el enlace.

2.3 RECOLECCION Y PROCESAMIENTO DE DATOS

Para identificar los elementos y las propiedades del sistema se recurre a la información recolectada y analizada en la sección 2.2. Debido a la complejidad del sistema se abordará cada subsistema desde los siguientes puntos de vista:

- Identificación de clases y objetos.
- Identificación de sujetos.
- Identificación de estructuras.
- Definición de atributos.
- Definición de servicios o métodos.

2.3.1 Subsistema: estación base en modo transmisión

2.3.1.1 Identificación de clases y objetos

El subsistema de estación base en modo transmisión consta de las siguientes partes básicas: codificador y multiplexor, mapeador del canal físico y modulador y ensanchador el cual realiza el proceso de modulación y el proceso de ensanchamiento al tiempo. Estos elementos corresponden a los objetos del sistema.

2.3.1.2 Identificación de sujetos

Para este subsistema se identificaron los siguientes sujetos: el codificador y multiplexor, el mapeador del canal físico, y el modulador y ensanchador, para los cuales se justificó realizar una estructura.

2.3.1.3 Identificación de estructuras

De acuerdo a las características en la que actúan cada objeto en el subsistema, se identifica la estructura Whole-part (ó también llamada de ensamblaje) para describir el mismo, la estructura de cada objeto (codificador y multiplexor, mapeador del canal físico, y modulador y ensanchador) del subsistema se muestra a continuación.

2.3.1.3.1 Codificador y multiplexor

El objeto codificador y multiplexor se divide en seis componentes básicos: generador del CRC, concatenador del bloque de transporte (BT) y segmentador del bloque de código (BC), codificador del canal, relacionador de velocidades, primer intercalador y segmentador de la trama radio. La estructura del codificador y multiplexor con sus componentes se muestra en la figura 2.1.

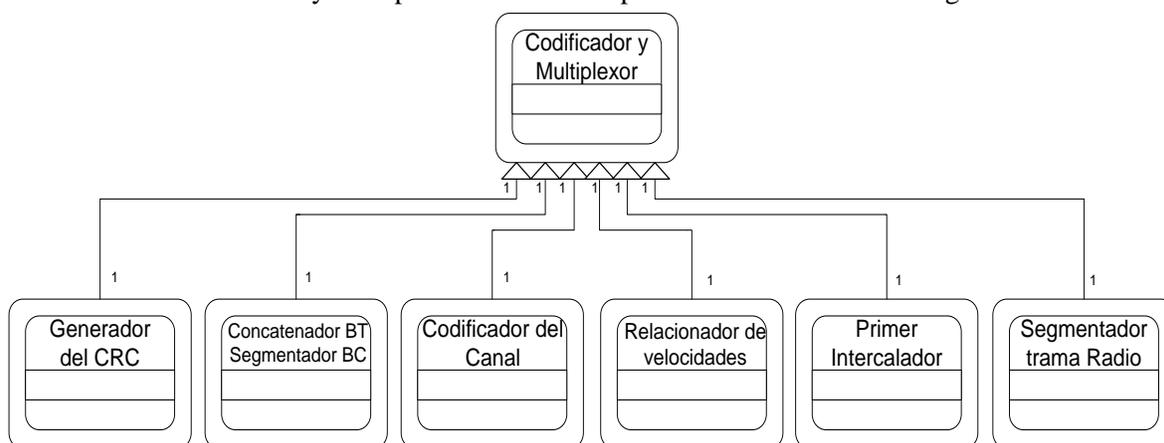


Figura 2.1 Estructura Whole-part aplicada al codificador y multiplexor

2.3.1.3.2 Mapeador del canal físico

El objeto mapeador del canal físico se divide en tres componentes básicos: segmentador del canal físico, segundo intercalador y constructor de los campos de la trama, según se muestra en la figura 2.2.

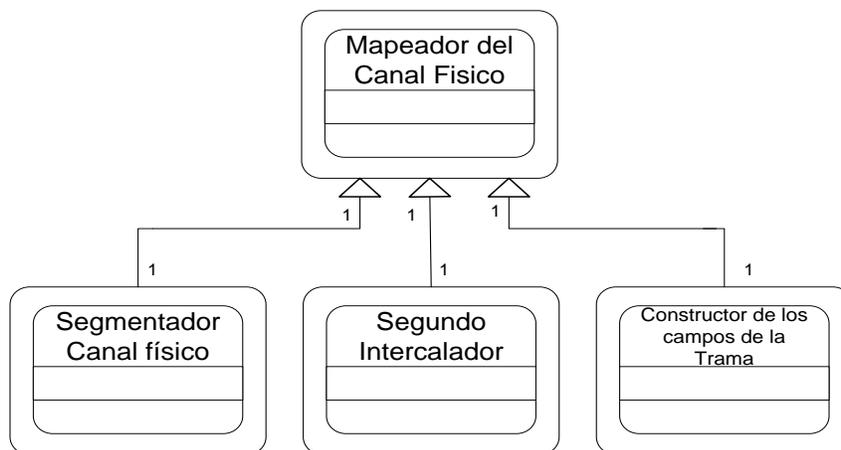


Figura 2.2 Estructura Whole-part aplicada al mapeador del canal físico

2.3.1.3.3 Modulador y ensanchador

El objeto modulador y ensanchador se divide en cinco componentes básicos: modulador, ensanchador, codificador, estimador de potencia y muestreador de pulsos. El componente modulador a su vez se divide en dos componentes: mapeador de datos y modulador QPSK, como se muestra en la figura 2.3

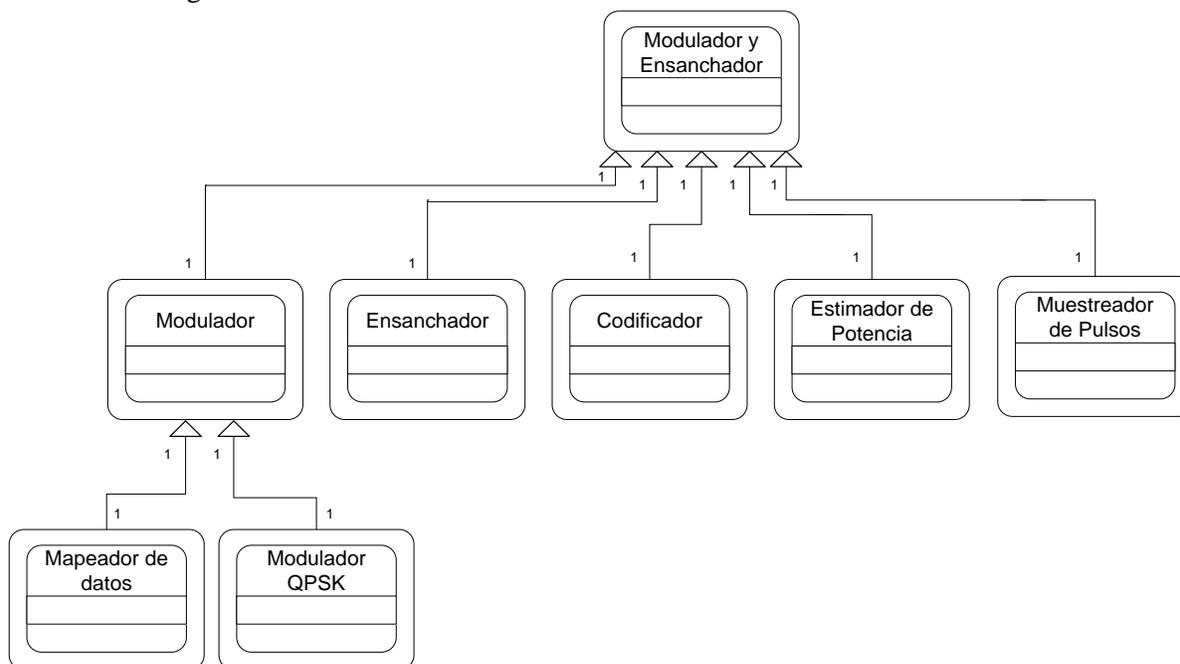


Figura 2.3 Estructura Whole-part aplicada al Modulador y Ensanchador

2.3.1.4 Definición de atributos

En la definición de atributos se considera cada objeto de forma independiente.

2.3.1.4.1 Atributos del codificador y multiplexor

- Nombre: polinomio generador de CRC.
Descripción: atributo que representa los bits CRC de acuerdo a los polinomios generadores especificados en [19].
- Nombre: número de bits por canal de transporte.
Descripción: atributo que representa el número de bits que conforman cada canal de transporte.
- Nombre: atributos de la función concatenadora BT y segmentadora BC. Descripción: atributos que representan el número de bits por canal de transporte, número de bits de relleno, número de palabras de código y los números de bits en cada palabra de código.
- Nombre: tipo de codificación.
Descripción: atributo que determina que codificación se va aplicar sobre los bits de datos y los bits de control de entrada.
- Nombre: atributo de correspondencia de velocidades de datos.
Descripción: este atributo se utiliza para calcular el número de bits a repetir ó a eliminar en forma selectiva (puncturing), también es utilizado para determinar el factor de ensanchamiento, el número de canales físicos necesarios y el patrón de correspondencia de velocidades de transmisión.
- Nombre: patrón del primer intercalamiento
Descripción: atributo constante establecido por [19] que determina el patrón de permutación entre filas y columnas en el primer intercalamiento.

2.3.1.4.2 Atributos del mapeador del canal físico

- Nombre: numero de canales físicos.
Descripción: atributo que determina el número de canales físicos entre los que se dividen los bits de la señal de entrada.
- Nombre: patrón de segundo intercalamiento.
Descripción: atributo constante establecido por [19] que determina el patrón de permutación entre filas y columnas para el segundo intercalamiento.

- Nombre: formato del campo de la trama
Descripción: atributo definido por los niveles superiores que determina el formato con el cual se deben construir los campos de la trama.

2.3.1.4.3 Atributos del modulador y ensanchador

- Nombre: factor de modulación M-ary.
Descripción: atributo que determina el tipo de modulación que se va a aplicar en el canal.
- Nombre: factor de ensanchamiento.
Descripción: atributo que determina el número de chips por símbolo.
- Nombre: secuencia código largo (long code) gold.
Descripción: atributo que determina el código gold a utilizar.
- Nombre: potencia del canal.
Descripción: atributo que determina la potencia que se debe aplicar a cada canal físico.

2.3.1.5 Definición de servicios

2.3.1.5.1 Servicios del codificador multiplexor

- Nombre: calcular el CRC.
Descripción: determina los bits que permiten la detección de errores que se agregan a la trama de datos de acuerdo al atributo polinomio generador de CRC.
- Nombre: concatenar BT y segmentar BC.
Descripción: calcula el número de bits por canal de transporte, número de bits de relleno, número de palabras de código y también el número de bits en cada palabra de código.
- Nombre: codificar el canal.
Descripción: realiza la codificación del canal en cada canal de transporte separadamente.
- Nombre: relacionador de velocidades de transmisión.
Descripción: repite ó elimina de forma selectiva los bits en un canal de transporte para asegurar que la velocidad total de transmisión de bits después de la multiplexación del canal de transporte sea idéntica a la velocidad total de transmisión de bits del canal físico dedicado asignado.
- Nombre: primer intercalamiento.

Descripción: intercala la secuencia de bits entrantes escribiéndolos en la matriz fila por fila, desarrollando la permutación entre columnas por medio de la utilización de un patrón específico definido en [19] y extrayendo esta secuencia columna por columna.

- Nombre: segmentar la trama radio.
Descripción: cuando el TTI de un bloque de transporte es mayor que 10ms, la secuencia de bits de entrada es mapeada en un número de tramas radio consecutivas.

2.3.1.5.2 Servicios del mapeador del canal físico

- Nombre: segmentador del canal físico.
Descripción: cuando se utiliza más de un canal físico la segmentación del canal físico divide los bits entre los diferentes canales físicos.
- Nombre: segundo intercalador.
Descripción: intercala los bits entrantes (incluyendo el relleno) escribiéndolos en una matriz fila por fila desarrollando la permutación entre columnas por medio de la utilización de un patrón específico definido en [19] y extrayendo columna por columna.
- Nombre: constructor de tramas.
Descripción: construye los campos de la trama de acuerdo a un formato especificado por los niveles superiores.

2.3.1.5.3 Servicios del modulador y ensanchador

- Nombre: modulador.
Descripción: cada par de bits del DPCH son convertidos de serial a paralelo y seguidamente son mapeados en la rama I o en la rama Q. Un par de bits conforman un símbolo, los símbolos pares se mapean en la rama Q y los símbolos impares se mapean en la rama I.
- Nombre: ensanchador.
Descripción: realiza el ensanchamiento (también llamado canalización) de la secuencia de entrada de valor complejo producto de la modulación por una secuencia ortogonal de valor real, esta operación transforma cada símbolo de datos en un número de chips, el número de chips por símbolo es llamado factor de ensanchamiento.
- Nombre: codificador
Descripción: realiza la codificación de una señal de entrada de valor complejo utilizando una secuencia de código gold (ó secuencia larga), en la que el periodo se restringe a 10ms, la misma secuencia es utilizada por todos los canales en una misma celda.
- Nombre: estimador de potencia

Descripción: utilizando las ganancias de potencia especificadas en la máscara del bloque aplica la estimación correspondiente a los diferentes canales.

2.3.2 Subsistema: medio de transmisión

2.3.2.1 Identificación de clases y objetos

El subsistema medio de transmisión consta de las siguientes partes básicas: desvanecimiento por multitrayectoria y AWGN. Estos elementos corresponden a los objetos del sistema.

2.3.2.2 Identificación de estructuras

De acuerdo a las características del subsistema, se identifica la estructura Whole-part para describir el mismo. La estructura de subsistema se muestra en la figura 2.4.

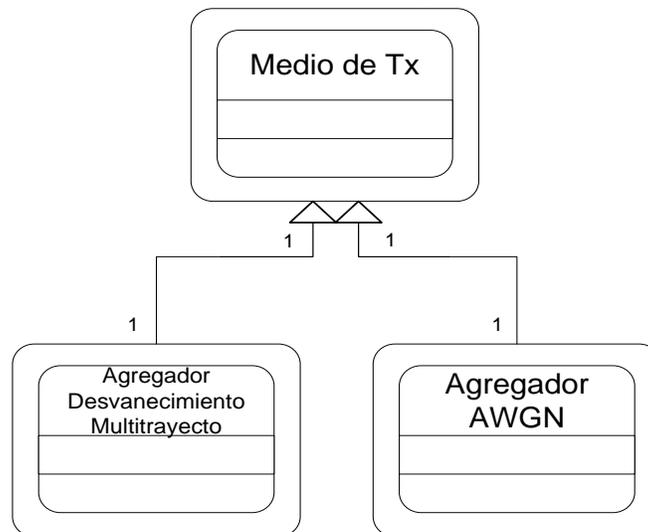


Figura 2.4 Estructura Whole-part aplicada al Medio de Tx

2.3.2.3 Identificación de sujetos

Para este subsistema se identifican los siguientes sujetos: desvanecimiento por multitrayectoria y AWGN.

2.3.2.4 Definición de atributos

- Nombre: numero de trayectos.
Descripción: atributo que representa el número de trayectos diferentes que afectan la señal.
- Nombre: relación Es/No. (Es o Eb Relación de la Energía de Símbolo (o bit) con respecto a la Densidad de Potencia de Ruido)

Descripción: representa la relación entre la potencia de un símbolo y la densidad de potencia del ruido que afecta la señal.

2.3.2.5 Definición de servicios

- Nombre: desvanecimiento por multitrayectoria.
Descripción: multiplica la señal de entrada con muestras de un proceso aleatorio complejo distribuido de Rayleigh.
- Nombre: AWGN.
Descripción: adiciona Ruido Gaussiano Blanco a la señal.

2.3.3 Subsistema: equipo de usuario en modo recepción

2.3.3.1 Identificación de clases y objetos

El subsistema de equipo de usuario en modo recepción consta de las siguientes partes básicas: demodulador y desensanchador, desmapeador del canal físico, decodificador y demultiplexor. Estos elementos corresponden a los objetos del sistema.

2.3.3.2 Identificación de estructuras

De acuerdo a las características de cada objeto en el subsistema, se identifica la estructura Whole-part para describir el mismo, la estructura de cada objeto (demodulador y desensanchador, desmapeador del canal físico, y decodificador y demultiplexor) del subsistema se muestra a continuación.

2.3.3.2.1 *Demodulador y desensanchador*

El demodulador y desensanchador se divide en cuatro componentes básicos: filtrador, receptor Rake, demodulador y reconstructor de los campos de la trama. El componente receptor Rake a su vez se subdivide en: dedo RAKE y combinador, como se muestra en la figura 2.5.

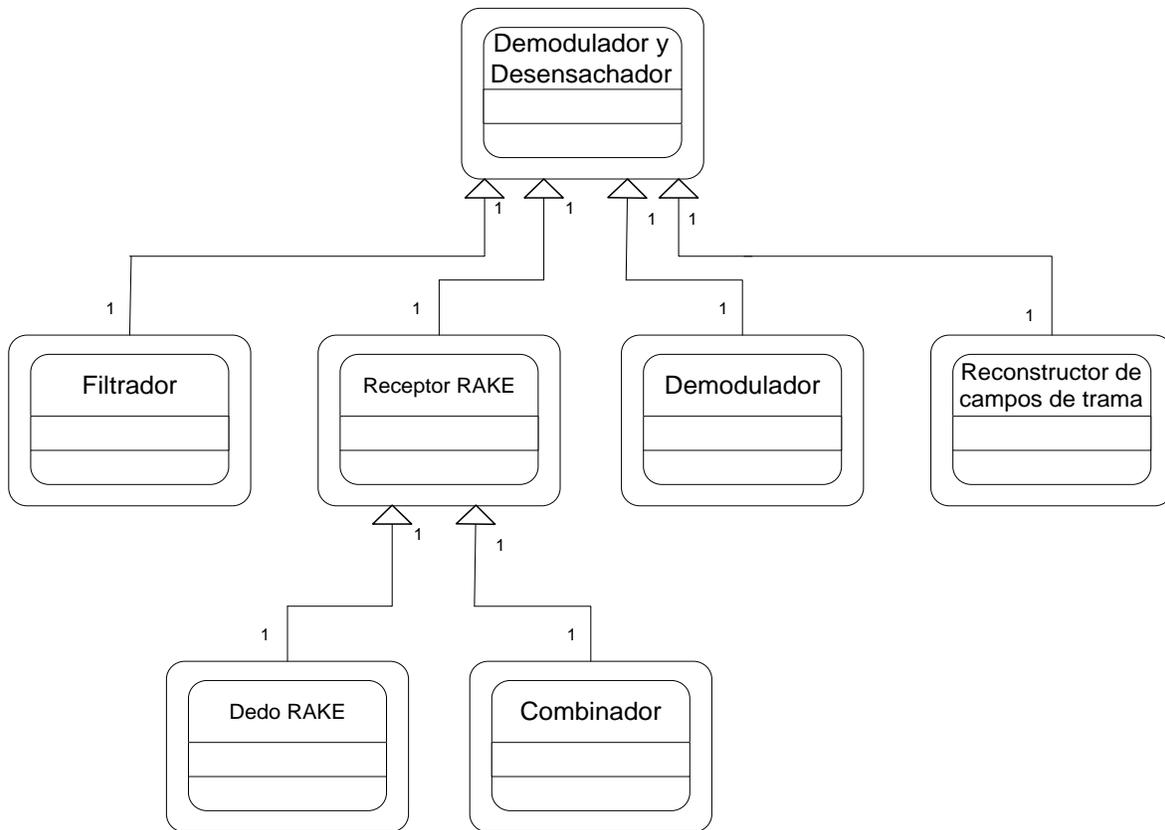


Figura 2.5 Estructura Whole-part aplicada al demodulador y desensachador

2.3.3.2.2 Desmapeador del canal físico

El objeto desmapeador del canal físico se divide en tres componentes básicos: divisor de los campos de la trama, segundo desintercalador y concatenador del canal físico como se muestra en la figura 2.6.

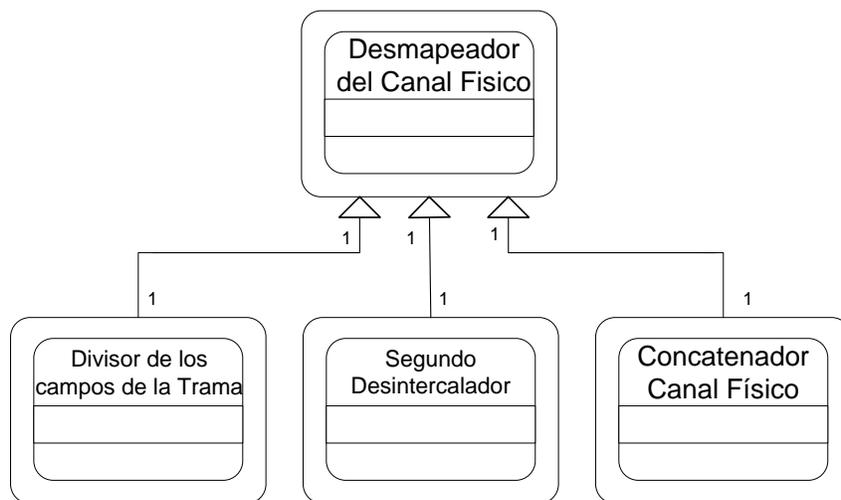


Figura 2.6 Estructura Whole-part aplicada al desmapeador del canal físico

2.3.3.2.3 Decodificador y demultiplexor

El objeto decodificador y demultiplexor se divide en seis componentes básicos: concatenador de la trama radio, primer desintercalador, relacionador inverso de velocidades de datos, decodificador del canal, concatenador BC y segmentador BT, y detector de errores, como se muestra en la figura 2.7.

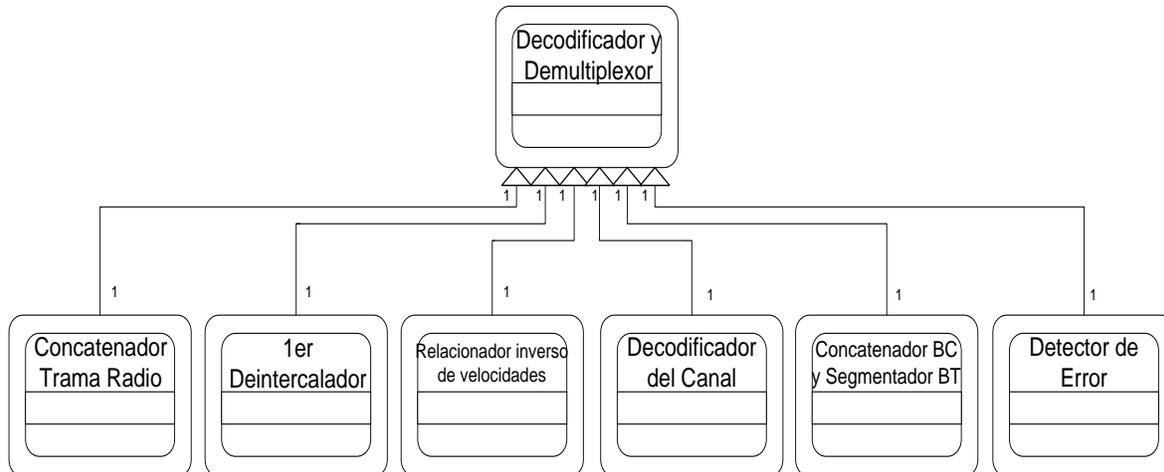


Figura 2.7 Estructura Whole-part aplicada al Decodificador y Demultiplexor.

2.3.3.3 Identificación de sujetos

Para este subsistema se identificaron los siguientes sujetos: demodulador y desensanchador, desmapeador del canal físico, y el decodificador y demultiplexor, para los cuales se realizó una estructura.

2.3.3.4 Definición de atributos

En la definición de atributos se considera cada objeto de forma independiente.

2.3.3.4.1 Atributos del demodulador y desensanchador

- Nombre: tipo de filtro.
Descripción: atributo que representa tipo de filtraje que se le va aplicar a la señal.
- Nombre: factor de Roll-off.
Descripción: atributo que se encuentra entre los valores de 0 y 1 y determina el ancho de banda del filtro (parámetro de diseño del filtro).
- Nombre: factor de ensanchamiento.
Descripción: atributo que determina el número de chips por símbolo.
- Nombre: código para la codificación.

Descripción: identifica el número del código para la codificación entre los posibles ($2^{18-1} = 262143$).

- Nombre: número de dedos (Fingers) activos.
Descripción: determina el número de dedos activos en el receptor Rake.
- Nombre: fase de los dedos activos.
Descripción: determina la separación de fase entre los dedos activos en el receptor Rake.

2.3.3.4.2 Atributos del desmapeador del canal físico

- Nombre: formato del campo de la trama.
Descripción: atributo definido por los niveles superiores que determinan con que formato se deben reconstruir los campos de la trama.
- Nombre: patrón de segundo desintercalamiento.
Descripción: atributo constante establecido por el [19] que determina el patrón de permutación entre filas y columnas para el segundo desintercalamiento.
- Nombre: número de canales físicos.
Descripción: atributo que representa el número de canales físicos entre los que se dividen los bits recibidos.

2.3.3.4.3 Atributos del decodificador y demultiplexor

- Nombre: número de bits por canal de transporte.
Descripción: atributo que representa el número de bits que conforman cada canal de transporte.
- Nombre: patrón de primer intercalamiento.
Descripción: atributo constante establecido por el [19] que determina el patrón de permutación entre filas y columnas en el primer intercalamiento.
- Nombre: atributo de correspondencia inversa de velocidades de datos.
Descripción: este atributo se utiliza para calcular el número de bits repetidos ó los eliminados en forma selectiva (puncturing) y así eliminar los bits de relleno o restablecer los eliminados.
- Nombre: tipo de decodificación.
Descripción: atributo que determina que decodificación se va aplicar sobre la señal recibida.
- Nombre: atributos de la función concatenadora BC y segmentadora BT.

Descripción: atributos que representan el número de bits por canal de transporte, número de bits de relleno, número de palabras de código y el número de bits en cada palabra de código.

- Nombre: polinomio generador de CRC.
Descripción: atributo que representa los bits CRC de acuerdo a los polinomios generadores especificados en [19], que serán comparados con los generados en la transmisión para la detección de errores.

2.3.3.5 Definición de servicios

2.3.3.5.1 *Servicios del demodulador y desensanchador*

- Nombre: filtraje.
Descripción: filtra la señal de entrada con un filtro de raíz de coseno alzado de raíz cuadrada (Square root RRC) ó un filtro de coseno alzado normalizado (Normal RRC) que tiene un valor de roll-off determinado.
- Nombre: recepción tipo Rake.
Descripción: cada uno de los diferentes dedos decrementa la velocidad de muestreo (downsample), desensancha y decodifica los bits piloto y los datos usando el correspondiente código de canalización y la secuencia de código gold. Los bits piloto se desacoplan de los datos y se envían al estimador del canal cuya salida es entonces usada para rotar la señal recibida. Los datos procesados por cada dedo rake son finalmente combinados coherentemente antes de ser enviados al desmapeo del canal físico.
- Nombre: desmapeo I&Q (Demodulador)
Descripción: transforma una señal de valor complejo en una señal de valor real que surge de la combinación de la parte real e imaginaria de la señal de entrada.
- Nombre: reconstructor de los campos de la trama.
Descripción: almacena los símbolos de entrada para generar los campos de la trama de datos.

2.3.3.5.2 *Servicios del desmapeador del canal físico*

- Nombre: divisor de los campos de la trama.
Descripción: divide los campos de la trama de acuerdo a un formato especificado por los niveles superiores.
- Nombre: segundo desintercalamiento.

Descripción: desintercala los bits entrantes (incluyendo el relleno) escribiéndolos en una matriz fila por fila realizando la permutación entre columnas por medio de la utilización de un patrón específico definido en [19] y extrayéndolos columna por columna.

- Nombre: concatenador del canal físico.

Descripción: concatena los bits de los diferentes canales físicos utilizados.

2.3.3.5.3 Servicios del decodificador y demultiplexor

- Nombre: concatenador de la trama radio.

Descripción: concatena las tramas radio consecutivas que fueron segmentadas en la estación base para restablecer el TTI original.

- Nombre: primer desintercalamiento.

Descripción: desintercala los bits entrantes escribiéndolos en la matriz fila por fila, desarrollando la permutación entre columnas por medio de la utilización de un patrón específico definido en [19] y extrayéndolos columna por columna.

- Nombre: relacionador inverso de velocidades de transmisión.

Descripción: extrae los bits de relleno ó inserta los bits eliminados en forma selectiva en el canal de transporte para asegurar que la velocidad total de transmisión de bits después de la multiplexación del canal de transporte sea idéntica a la velocidad total de transmisión de bits del canal físico dedicado asignado, recuperando la velocidad inicial.

- Nombre: decodificador del canal

Descripción: realiza la decodificación de cada canal de transporte separadamente.

- Nombre: concatenador BC y segmentador BT

Descripción: calcula el número de bits por canal de transporte, número de bits de relleno, número de palabras de código y también el número de bits en cada palabra de código.

- Nombre: detector de error

Descripción: extrae los bits redundantes de las tramas de datos de entrada (generados por el polinomio especificado [19]) y verifica los datos de entrada para detectar errores.

2.4 FORMULACIÓN DEL MODELO DE SIMULACIÓN

Luego del estudio de los estándares del 3GPP y con un amplio entendimiento de ellos, se procede a plantear el modelo de simulación que no es más sino la abstracción de las características que se consideran necesarias del sistema, en las que se podrán observar con claridad los procesos que son objeto de estudio. Esta abstracción permitirá reducir significativamente la complejidad del sistema y facilitará la implementación del sistema haciendo uso de la herramienta de simulación. De acuerdo a lo planteado el sistema se modelará teniendo en cuenta los siguientes subsistemas:

- Estación base en modo transmisión.
- Modelo del medio de transmisión.
- Equipo de usuario en modo recepción

La estructura general del sistema a simular se muestra en la figura 2.8.

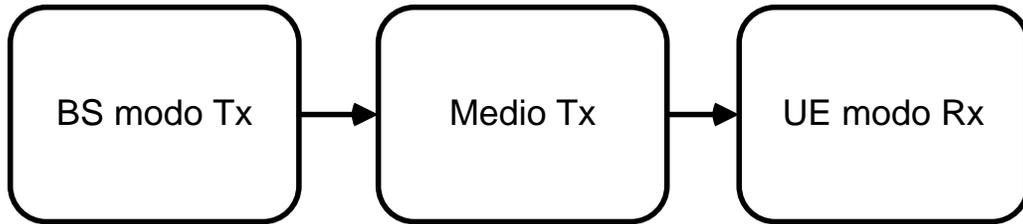


Figura 2.8 Estructura general del sistema

2.4.1 Modelo de simulación: subsistema BS en modo transmisión

El subsistema BS en modo transmisión de manera general contiene los siguientes componentes.



Figura 2.9 Estructura del subsistema BS en modo transmisión.

El bloque de codificador y multiplexor del canal a su vez contiene los siguientes elementos:

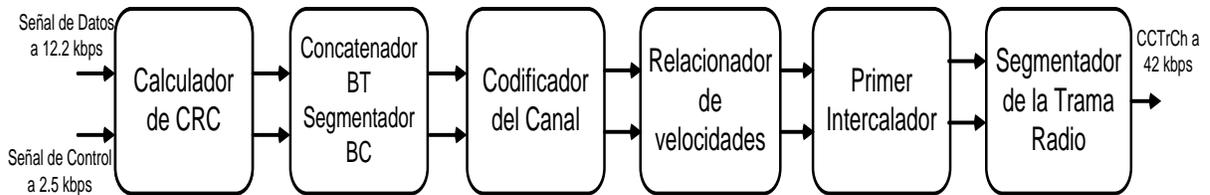


Figura 2.10 Estructura interna del bloque codificador y multiplexor del canal de transmisión.

El bloque mapeador de los canales físicos presenta la siguiente estructura interna:

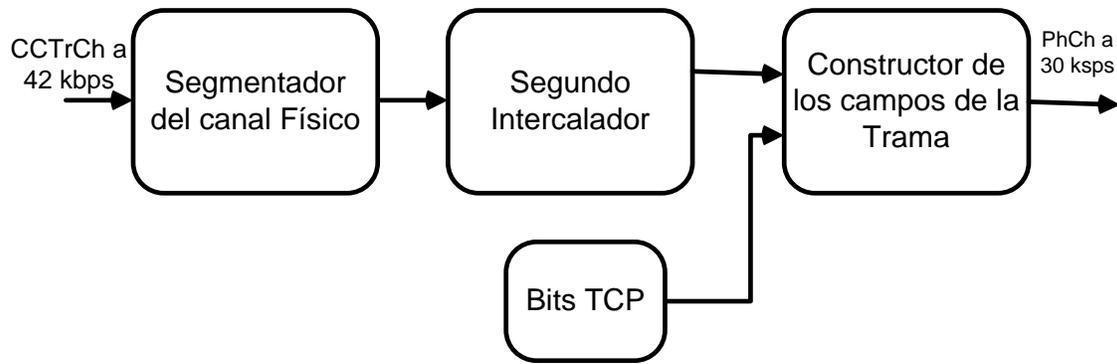


Figura 2.11 Estructura interna del bloque mapeador de los canales físicos

El bloque modulador y ensanchador de los canales físicos presenta la siguiente estructura interna:

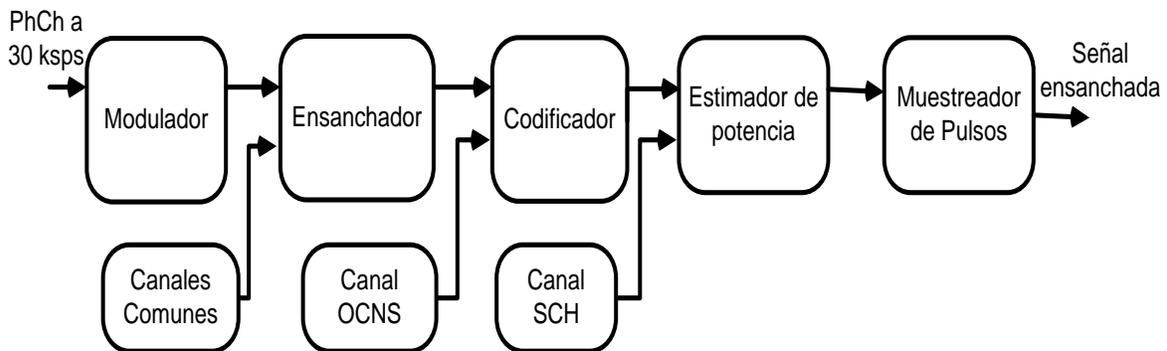


Figura 2.12 Estructura interna del bloque modulador y ensanchador

2.4.1.1 Codificador y multiplexor del canal

- Señales de entrada: señal digital que corresponde a los datos de información de usuario.
- Variables de entrada:
 - Velocidad de bits de datos (12.2 kbps).
 - Velocidad de bits de control (2.5 kbps).
 - Tamaño de cada bloque de transporte:
 - Canal dedicado de tráfico (Dedicated Traffic Channel, DTCH): 244 bits cada TTI de 20 ms.
 - Canal dedicado de control (Dedicated Control Channel, DCCH): 100 bits cada TTI de 40ms.
- Señal de salida: señal digital codificada.
- Variables de salida:
 - Velocidad de bits: 42 kbps.
 - Bits por CCTrCH: tramas de 420 bits cada 10 ms.

- Señales propias de procesos internos:

El bloque codificador y multiplexor, identificado como sujeto en el análisis y recolección de información, tiene internamente 6 componentes con sus respectivas señales y variables. Estas se indican a continuación para cada componente.

2.4.1.1.1 *Calculador de CRC*

- Señales de entrada: señal digital de datos a 12.2 kbps en un bloque de transporte que se compone del DTCH con un tamaño de 244 bits. Señal digital de control a 2.5 kbps en un bloque de transporte que se compone del DCCH con un tamaño de 100 bits. El DTCH ingresa a este bloque cada 20ms mientras que el DCCH ingresa a este bloque cada 40ms
- Variables de entrada:
 - Polinomio generador de CRC.
 - Velocidad de bits de datos: 12.2kbps.
 - Velocidad de bits de control: 2.5 kbps.
 - Bloque de transporte: DTCH con 244 bits cada 20ms.
 - Bloque de transporte: DCCH con 100 bits cada 40ms.
- Señales de salida: señal digital de datos a una velocidad de 13 kbps en el canal DTCH con 260 bits (244 bits de datos más 16 bits del CRC) cada 20 ms, correspondiente a los datos de usuario más el CRC calculado. Señal digital de control a una velocidad de 2.8 kbps en el canal DCCH con 112 bits (100 bits de control mas 12 bits del CRC) cada 40 ms.
- Variables de salida:
 - Velocidad de bits de datos: 13 kbps.
 - Velocidad de bits de control: 2.8 kbps.
 - Bits por DTCH: 260 bits (244 bits + CRC=16 bits) cada 20ms.
 - Bits por DCCH: 112 bits (100 bits + CRC=12 bits) cada 40ms.

- Descripción matemática:

El número de bits CRC aplicado a cada bloque de transporte se denota por L_i . Este número de bits CRC se adiciona independientemente a cada bloque de transporte antes de que sea concatenado y codificado. El numero de bits CRC es uno de los parámetros semiestáticos dados por la especificación [27].

Los CRC son típicamente implementados como un registro de corrimiento con realimentación como el que se muestra en la figura 2.13, en esta figura se genera una secuencia CRC de 8 bits como se muestra en la sección 1.2.6.1.2 del capítulo 1. Cada conexión en el registro corresponde a un término del polinomio generador, si el exponente de D está presente en el

polinomio generador la conexión entre el elemento presente en el polinomio generador y el elemento siguiente se realiza a través de una compuerta OR exclusiva (XOR), como en el caso de D^1 que esta presente en el polinomio generador y esta conectado por medio de una compuerta OR exclusiva con el elemento siguiente que es D^2 . En este caso D^2 no se encuentra presente en el polinomio generador porque no esta conectado por medio de una compuerta XOR con el elemento siguiente. Los elementos para los que el exponente de D no está presente en el polinomio generador se conectan directamente al próximo elemento.

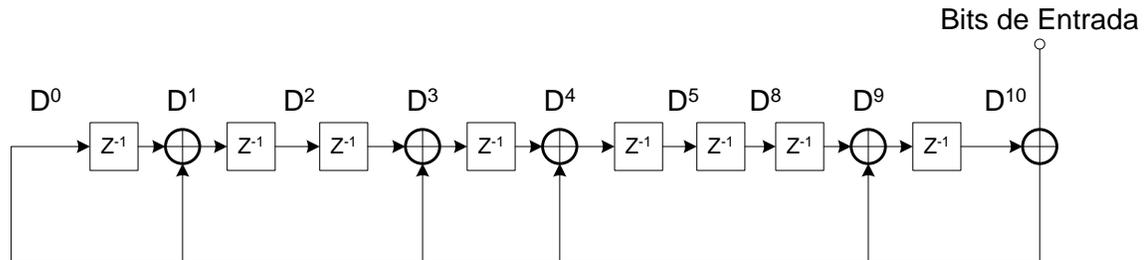


Figura 2.13 Registro de cambio para la implementación del CRC de ocho bits

Los términos D^{Li} y $D^0=1$ corresponden a las conexiones en el principio y fin del registro de corrimiento. Para cada bloque de transporte inicialmente los registros son fijados a cero. Entonces cada bit pasa a través del registro de izquierda a derecha. El contenido del registro de corrimiento después de que cada uno de los A_i bits del bloque de transporte pasan por el proceso representa los bits CRC que serán transmitidos, estos bits se transmiten en orden inverso. Para profundizar sobre este bloque ver la sección 1.2.6.1.2 del capítulo 1.

2.4.1.1.2 Concatenador BT y Segmentador BC

- Señales de entrada: señal digital de datos proveniente del generador de CRC a 13kbps en un bloque de transporte compuesto por el canal DTCH con un tamaño de 260 bits cada 20ms. Señal digital de control a 2.8 kbps en un bloque de transporte compuesto por el canal DCCH con un tamaño 112 bits cada 40 ms.
- Variables de entrada:
 - Velocidad de bits de datos: 13 kbps.
 - Velocidad de bits de control: 2.8 kbps.
 - Bits por DTCH: 260 bits (244 bits + CRC=16 bits) cada 20ms.
 - Bits por DCCH: 112 bits (100 bits + CRC=12 bits) cada 40ms.
- Señal de salida: señal digital de datos a 13 kbps en un bloque de transporte con el DTCH de 260 bits (244 bits de datos+16 bits CRC) cada 20ms. Señal digital de control a 2.8 kbps en un bloque de transporte con el DCCH de 112 bits (100 bits de datos+12 bits CRC) cada 40ms.
- Variables de salida: [DTCH DCCH]

- Numero de bloques de transporte: [1 1].
- Bits por canal de transporte por TTI: [260 112].
- Numero de palabras de código: [1 1].
- Bits por palabra de código: [260 112].
- Bits de relleno: [0 0].

- Descripción matemática:

Todos los bloques en un TTI son concatenados de manera serial. Si el número de bits en un TTI es mayor que Z (el tamaño máximo del bloque de código en cuestión), entonces se realiza la segmentación del bloque de código después de la concatenación del bloque de transporte. El tamaño máximo del bloque de código depende si se está utilizando codificación convolucional ó codificación turbo para el TrCH.

La descripción matemática de este proceso se describe en la sección 1.2.6.1.3 del capítulo 1.

2.4.1.1.3 Codificador del canal

- Señales de entrada: señal digital de datos a 13 kbps en un bloque de transporte compuesto por el DTCH de 260 bits cada 20ms. Señal digital de control a 2.8 kbps en un bloque de transporte compuesto por el DCCH de 112 bits cada 40ms.
- Variables de entrada: [DTCH DCCH]
 - Numero de bloques de transporte: [1 1].
 - Bits por canal de transporte por TTI: [260 112].
 - Numero de palabras de código: [1 1].
 - Bits por palabra de código: [260 112].
 - Bits de relleno: [0 0].
 - Tipo de codificación.
- Señales de salida: señal de datos codificada convolucionalmente a 40.2 kbps en un bloque de transporte con un DTCH de 804 bits cada 20 ms. Señal de control codificada convolucionalmente a 9 kbps en un bloque de transporte con un DCCH de 360 bits cada 40ms.
- Variables de salida:
 - Velocidad de bits de datos: 40.2 kbps.
 - Velocidad de bits de control: 9 kbps.
 - Bits codificados por DTCH: 804 bits cada 20ms.
 - Bits codificados por DCCH: 360 bits cada 40ms.
- Descripción matemática:

Para WCDMA se especifican tres tipos de codificación del canal: codificación convolucional 1/2 ó 1/3, ó codificación turbo 1/3. Las opciones de codificación se resumen en la tabla 2.1 [19] [20], hay que resaltar que los valores de entrada y salida de esta tabla no tienen en cuenta el proceso de concatenación de BT y segmentación de BC.

Opción	Resumen	Numero de bits de salida Y_i (K_i bits de entrada, un código de bloque)	Máximo tamaño de bloque de código Z
1/2 velocidad convolucional	$K = 9, G_0 = 561, G_1 =$ (octal)	$2 \times (K_i + 8)$	504
1/3 velocidad convolucional	$K = 9, G_0 = 557, G_1 =$ (octal)	$663, G_2 = 7(K_i + 8)$	504
Turbo	Paralelo $K = 4$ 1/2 velocidad códigos RSC ¹⁶	$2 \times (K_i + 12)$	5114
Opción	Resumen	Numero de bits de salida (bits de entrada, un código de bloque)	Máximo tamaño de bloque de código
1/2 velocidad convolucional	(octal)		504
1/3 velocidad convolucional	(octal)		504
Turbo	Paralelo 1/2 velocidad códigos RSC		5114

Tabla 2.1 Tipos de codificación

El proceso Matemático de codificación se describe en la sección 1.2.6.1.4 del capítulo 1.

2.4.1.1.4 Relacionador de velocidades

- Señales de entrada: señal de datos a 40.2 kbps codificada convolucionalmente en un bloque de transporte con un DTCH de 804 bits cada 20 ms. Señal de control a 9 kbps codificada convolucionalmente en un bloque de transporte con un DCCH de 360 bits cada 40ms.
- Variables de entrada:
 - Velocidad de bits de datos: 40.2 kbps.
 - Velocidad de bits de control: 9 kbps.
 - Bits codificados por DTCH: 804 bits cada 20ms.
 - Bits codificados por DCCH: 360 bits cada 40ms.

¹⁶ Convolucionales Recursivos Sistemáticos, Recursive Systematic Convolutional

- Atributo de correspondencia de velocidades.
- Porcentaje de Puncturing o repetición.
- Señales de salida: señal digital de datos a 34.3 kbps en un bloque de transporte compuesto por el DTCH con 686 bits cada 20 ms. Señal digital de control a 7.7 kbps en un bloque de transporte compuesto por el DCCH con 308 bits cada 40 ms.
- Variables de salida:
 - Velocidad de bits de datos: 34.3 kbps.
 - Velocidad de bits de control: 7.7 kbps.
 - Bits por DTCH: 686 bits cada 20ms.
 - Bits por DCCH: 308 bits cada 40ms.
- Descripción matemática:

La correspondencia de velocidades provee un mecanismo para mapear los bits de datos codificados de cada TrCH sobre el recurso PhCH disponible. Esto significa que en este bloque se eliminarán ó repetirán algunos bits codificados dependiendo si el número de bits disponibles en el PhCH es mayor ó menor que el número de bits codificados.

A cada TrCH en un CCTrCH se le asigna un R_{Mi} (Atributo de adaptador de velocidades (Rate Matching)) y este se utiliza para el control de la cantidad de puncturing ó repetición en un TrCH. De manera general la relación entre los bits de salida y entrada del adaptador de velocidades es aproximadamente proporcional al R_{Mi} del canal dividido la suma de todos los R_{Mi} en el CCTrCH. La definición de los patrones utilizados en este bloque para la repetición ó para la eliminación de forma selectiva y el cálculo de los valores de los parámetros utilizados en estos patrones se describen en la sección 1.2.6.1.5 del capítulo 1.

2.4.1.1.5 Primer Intercalador

- Señales de entrada: señal digital de datos a 34.3 kbps en un bloque de transporte compuesto por el DTCH con 686 bits cada 20 ms. Señal digital de control a 7.7 kbps en un bloque de transporte compuesto por el DCCH con 308 bits cada 40 ms.
- Variables de entrada:
 - Velocidad de bits de datos: 34.3 kbps.
 - Velocidad de bits de control: 7.7 kbps.
 - Bits por DTCH: 686 bits cada 20ms.
 - Bits por DCCH: 308 bits cada 40ms.
 - Patrón de intercalamiento.

- Señales de salida: señal digital de datos a 34.3 kbps en un bloque de transporte compuesto por el DTCH con 686 bits cada 20 ms. Señal digital de control a 7.7 kbps en un bloque de transporte compuesto por el DCCH con 308 bits cada 40 ms.

- Variables de salida:

- Velocidad de bits de datos: 34.3 kbps.
- Velocidad de bits de control: 7.7 kbps.
- Bits por DTCH: 686 bits cada 20ms.
- Bits por DCCH: 308 bits cada 40ms.

- Descripción matemática:

La función de intercalamiento se realiza para evitar errores consecutivos debido a que los errores se presentan en ráfagas por las condiciones del canal. Este proceso intercala bits del mismo TrCH. La descripción matemática de este bloque y el procedimiento para el intercalamiento se describe en la sección 1.2.6.1.7 del capítulo 1.

2.4.1.1.6 Segmentador de la trama radio

- Señales de entrada: señal digital de datos a 34.3 kbps en un bloque de transporte compuesto por el DTCH con 686 bits cada 20 ms. Señal digital de control a 7.7 kbps en un bloque de transporte compuesto por el DCCH con 308 bits cada 40 ms.

- Variables de entrada:

- Velocidad de bits de datos: 34.3 kbps.
- Velocidad de bits de control: 7.7 kbps.
- Bits por DTCH: 686 bits cada 20ms.
- Bits por DCCH: 308 bits cada 40ms.

- Señal de salida: señal digital en tramas radio a 42 kbps, el tamaño de las tramas es de 420 bits (la segmentación divide el DTCH en dos tramas radio de 343 bits y divide el DCCH en 4 tramas de 77 bits, finalmente a los datos (343 bits) se le agregan los bits de control (77 bits)) cada 10 ms.

- Variables de salida:

- Velocidad de bits: 42 kbps.
- Bits por trama: 420 bits cada 10 ms.

- Descripción matemática:

Cuando el intervalo de tiempo de transmisión es mayor que 10ms, la secuencia de bits de entrada se segmenta y se mapea en tramas radio consecutivas. La definición de esta operación se encuentra en la sección 1.2.6.1.8 del capítulo 1.

2.4.1.2 Mapeador del canal Físico

- Señales de entrada: señal digital en tramas radio a 42kbps, el tamaño de las tramas es de 420 bits cada 10 ms.
- Variables de entrada:
Velocidad de bits: 42 kbps.
Bits por trama: 420 bits cada 10 ms.
- Señal de salida: señal digital a 30 ksps en tramas radio divididas en 15 campos de trama cada uno de 28 bits a los que además se les ha añadido los bits TPC, los bits TFCI y los bits piloto según lo especifica el formato de campo de trama definido por los niveles superiores
- Variable de salida:
Velocidad de símbolos: 30 ksps.
- Señales propias de procesos internos:

El bloque mapeador del canal físico, identificado como sujeto en el análisis y recolección de información, tiene internamente 3 componentes con sus respectivas señales y variables. Estas se muestran a continuación para cada componente.

2.4.1.2.1 Segmentador del canal físico

- Señales de entrada: señal digital en tramas radio a 42 kbps, el tamaño de las tramas es de 420 bits cada 10 ms.
- Variables de entrada:
 - Velocidad de bits: 42 kbps.
 - Bits por trama: 420 bits cada 10 ms.
 - Número de canales físicos.
- Señal de salida: señal digital en un canal físico dedicado DPCH a 42 kbps, el tamaño de las tramas en el DPCH es de 420 bits cada 10 ms.
- Variables de salida:
 - Velocidad de bits: 42 kbps.
 - Bits por trama en el DPCH: 420 bits cada 10 ms.
- Descripción matemática:

Sí existe más de un PhCH, entonces los bits a ser transmitidos se dividen igualmente entre los PhCH disponibles. Si el número total de bits es X, y el número de PhCHs a ser usados es P, entonces los bits son divididos en segmentos cada uno de longitud U.

$$U = \frac{X}{P} \quad (2.1)$$

U es un número de valor entero, debido a que el proceso de acoplamiento de velocidades asegura que el número de bits de salida ocupan la capacidad total del PhCH. En la salida, los primeros U bits se envían en el primer PhCH, los segundos en el segundo y así sucesivamente. Este proceso con mayor detalle se describe en la sección 1.2.6.1.11 del capítulo 1.

2.4.1.2.2 Segundo Intercalador

- Señales de entrada: señal digital en un DPCH a 42 kbps, el tamaño de las tramas en el DPCH es de 420 bits cada 10 ms.
- Variables de entrada:
 - Velocidad de bits: 42 kbps.
 - Bits por trama en el DPCH: 420 bits cada 10 ms.
 - Patrón de intercalamiento.
- Señal de salida: señal digital en un DPCH a 42 kbps, el tamaño de las tramas en el DPCH es de 420 bits cada 10 ms.
- Variables de salida:
 - Velocidad de bits: 42 kbps.
 - Bits por trama en el DPCH: 420 bits cada 10 ms.
- Descripción matemática:

La operación de segundo intercalamiento opera de forma similar a la de primer intercalamiento, con la diferencia de que ésta intercala bits de todos los TrCH en una sola trama a la vez. La descripción matemática de este bloque y la operación del segundo intercalamiento se encuentra en la sección 1.2.6.1.12 del capítulo 1.

2.4.1.2.3 Constructor de los campos de la Trama

- Señales de entrada: señal digital en tramas radio a 42 kbps, el tamaño de las tramas es de 420 bits cada 10 ms.
- Variables de entrada:
 - Velocidad de bits: 42 kbps.
 - Bits por trama: 420 bits cada 10 ms.
 - Formato del campo de trama.

- Señal de salida: señal digital a 30 ksps en tramas radio divididas en 15 campos cada uno de 28 bits a los que además se les ha añadido los bits TPC, los bits TFCI y los bits piloto según lo especifica el formato del campo de la trama definido por los niveles superiores.
- Variable de salida:
 - Velocidad de símbolos: 30 ksps.
- Descripción matemática:
La descripción del mapeo del canal físico se estudió en la sección 1.2.6.1.13 del capítulo 1.

2.4.1.3 Modulador y Ensanchador

- Señales de entrada: señal digital a 30 ksps en tramas radio divididas en 15 campos cada uno de 28 bits de datos mas dos bits TPC, dos bits TFCI y ocho bits piloto ($28\text{bits}_{\text{datos}}+2\text{bits}_{\text{TPC}}+2\text{bits}_{\text{TFCI}}+8\text{bits}_{\text{Piloto}}$) según lo especifica el formato del campo de trama.
- Variable de entrada:
 - Velocidad de símbolos: 30 ksps.
- Señal de salida: señal digital modulada, ensanchada en un ancho de banda de 3.84MHz y entregada al canal (transmitida) por el filtro en un ancho de banda de 5MHz.
- Señales propias de procesos internos:

El bloque modulador y ensanchador, identificado como sujeto en el análisis y recolección de información, tiene internamente 5 componentes con sus respectivas señales y variables. Estas se muestran a continuación para cada componente.

2.4.1.3.1 Modulador

- Señales de entrada: señal digital a 30 ksps en tramas radio divididas en 15 campos cada uno de 28 bits de datos + 2 bits TPC + 2 bits TFCI + 8 bits piloto.
- Variables de entrada:
 - Velocidad de símbolos: 30 ksps.
 - Factor de modulación M-ary.
- Señal de salida: señal digital de valor complejo en fase (Canal I) y en cuadratura (Canal Q) modulada.
- Variable de salida:
 - Velocidad de símbolos: 30ksps.

- Descripción matemática:

En el downlink se utiliza modulación QPSK, para una descripción detallada dirigirse a la sección 1.2.6.2.3 del capítulo 1.

2.4.1.3.2 *Ensanchador*

- Señales de entrada: señal digital de valor complejo en fase (Canal I) y en cuadratura (Canal Q) modulada. Además a la entrada de este bloque se tienen las señales de los canales comunes mapeadas en una señal de valor complejo que van a ser ensanchadas.
- Variables de entrada:
 - Velocidad de bits:
 - Factor de ensanchamiento.
 - Canales comunes:
 - Canal piloto común primario (C-PICH).
 - Canal indicador de búsqueda (PICH).
 - Canal común primario físico de control (P-CCPCH).
- Señales de salida: señal digital de valor complejo ensanchada a una velocidad de chip de 3.84Mcps. Además a la salida se obtienen las señales de valor complejo de los canales comunes ensanchados.
- Variables de salida:
 - Velocidad de chips: 3.84 Mcps.
 - Numero de chips por salida: 256 chips.
 - Factor de Ensanchamiento: 128.

- Descripción matemática:

El ensanchamiento en el DL se basa en los códigos de canalización, un árbol de código bajo una misma codificación se comparte por varios usuarios. Debido a que en el downlink se utiliza modulación QPSK, el número de códigos de ensanchamiento disponibles (bajo la misma codificación) es igual al factor de ensanchamiento.

La relación entre el factor de ensanchamiento, la velocidad de símbolos y la velocidad de chips lograda es: $SF = \frac{\text{velocidad de chip}}{\text{velocidad de simbolo}} = \frac{3.84\text{Mchips}}{30\text{kps}} = 128$ (2.2). Para una descripción mas detallada sobre este bloque referirse a la sección 1.2.6.2.2 del capítulo 1.

2.4.1.3.3 *Codificador*

- Señales de entrada: señal digital de valor complejo modulada, ensanchada a una velocidad de chip de 3.84Mcps. A la entrada también se obtienen las señales de los canales comunes ensanchados, más las señales del canal ortogonal fuente de ruido (OCNS, Ortogonal Channel Noise Source). Las señales del OCNS se añaden para simular interferencia causada

por otros usuarios en la misma celda, donde todos los usuarios emplean la misma codificación pero emplean un código OVSF diferente [20] [21].

- Variables de entrada:
 - Velocidad de chips 3.84Mcps.
 - Numero de chips por salida: 256chips.
 - Factor de ensanchamiento.
 - Secuencia larga de código gold (ó long code).

- Señales de salida: señal digital de valor complejo codificada a una velocidad de chip de 3.84Mcps. Además a la salida se obtienen las señales de los canales comunes codificadas más las señales del canal fuente de ruido ortogonal, las que también han sido codificadas.

- Variables de salida:
 - Velocidad de chips de salida: 3.84 Mcps.
 - Numero de chips por salida: 256chips.

- Descripción matemática:

La codificación se necesita para separar terminales ó estaciones bases. La codificación sin afectar el ancho de banda de la señal logra que las señales desde fuentes diferentes se puedan distinguir. Una profundización acerca de este bloque se encuentra en la sección 1.2.6.2.1 del capítulo 1.

2.4.1.3.4 Estimador de Potencia

- Señales de entrada: señal digital de valor complejo modulada, ensanchada y codificada a una velocidad de chip de 3.84Mcps. Además a la entrada se obtienen las señales de los canales comunes ensanchadas y codificadas más la señal del canal fuente de ruido ortogonal codificado, adicionalmente a la entrada se tiene la señal del canal de sincronización, el cual se multiplexa con el P-CCPH y se presenta en la entrada cada 256 chips.

- Variables de entrada:
 - Velocidad de chips 3.84Mcps.
 - Numero de chips por salida: 256chips.
 - Vector de Potencia.

- Señales de salida: señal digital de valor complejo con la estimación de potencia respectiva. La velocidad de chip de esta señal es 3.84Mcps. A la salida se obtienen también las señales de los canales antes expuestos con una estimación de potencia para cada canal.

- Variables de salida:
 - Velocidad de chips de salida: 3.84 Mcps.

- Numero de chips por salida: 256chips.

- Descripción matemática

Aplica la estimación de potencia correspondiente a cada canal físico según lo especifica el vector de ganancia de potencia definido por los niveles superiores [27].

2.4.1.3.5 Muestreador de pulsos

- Señales de entrada: señal digital de valor complejo modulada, ensanchada, codificada y con la estimación de potencia respectiva. La velocidad de chip de esta señal es 3.84Mcps.
- Variables de entrada:
 - Tipo de filtraje.
 - Factor de roll-off.
- Señal de salida: señal digital filtrada de espectro ensanchado (3.84MHz), la cual se transmite sobre un ancho de banda de 5MHz debido al efecto del filtro.
- Descripción matemática:

El filtro transmisor muestreador de pulsos es una raíz de coseno alzada (RRC) con factor de roll-off de $\alpha = 0.22$ en el dominio de la frecuencia. La respuesta al impulso $RC_0(t)$ del filtro es:

$$RC_0(t) = \frac{\text{sen}\left(\pi\frac{t}{T_C}(1-\alpha)\right) + 4\alpha\frac{t}{T_C}\cos\left(\pi\frac{t}{T_C}(1+\alpha)\right)}{\pi\frac{t}{T_C}\left(1-\left(4\alpha\frac{t}{T_C}\right)^2\right)} \quad (2.3)$$

Donde el factor de roll-off es $\alpha = 0.22$ y la duración del chip es:

$$T_C = \frac{1}{\text{velocidad de chip}} \approx 0.26042\mu\text{s} \quad (2.4)$$

2.4.2 Modelo de simulación: subsistema Medio de Transmisión

El subsistema medio de transmisión de manera general contiene los siguientes componentes.

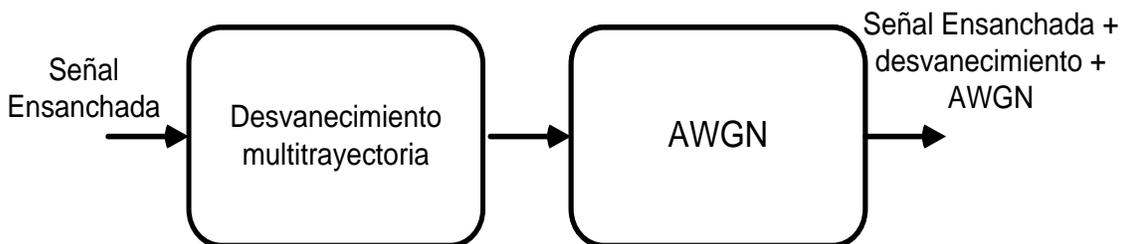


Figura 2.14. Estructura interna del subsistema medio de transmisión

Por lo tanto, y teniendo en cuenta los bloques generales (Objetos) mostrados en la figura 2.14, la caracterización para cada uno de las partes del subsistema de modelo del canal es la siguiente:

2.4.2.1 Desvanecimiento multitrayectoria

- Señal de entrada: señal de espectro ensanchado, con un ancho de banda de 3.84MHz, transmitida sobre un ancho de banda de 5MHz debido al efecto del filtro muestreador de pulsos.
- Variables de entrada:
 - Vector de retardo de los trayectos.
 - Vector de potencia de los trayectos.
- Señal de salida: señal de espectro ensanchado, con un ancho de banda de 3.84MHz, transmitida sobre un ancho de banda de 5MHz debido al efecto del filtro muestreador de pulsos, afectada por la multitrayectoria.

▪ Descripción matemática:

El desvanecimiento multitrayecto ocurre cuando la señal transmitida toma más de un trayecto o camino para llegar al receptor. Algunas de las señales llegan fuera de fase al receptor, dando como resultado una señal más débil.

La señal afectada por el desvanecimiento multitrayectoria se obtiene sumando las señales que llegan fuera de fase con la señal que llega en fase. Las señales que llegan fuera de fase están afectadas por un retardo y una atenuación con respecto a la señal original. Una descripción más detallada del efecto de desvanecimiento por multitrayectoria se encuentra en la sección 1.2.6.3 del capítulo 1.

2.4.2.2 AWGN

- Señal de entrada: señal de espectro ensanchado con un ancho de banda de 3.84MHz, transmitida en un ancho de banda de 5MHz y afectada por la multitrayectoria.
- Variable de entrada:
 - Relación Es/No (Relación señal a ruido).
- Señal de salida: señal de espectro ensanchado con un ancho de banda de 3.84MHz, transmitida en un ancho de banda de 5MHz afectada por multitrayectoria y AWGN.
- Descripción matemática:

Este bloque añade una cantidad de AWGN determinado por la relación señal a ruido.

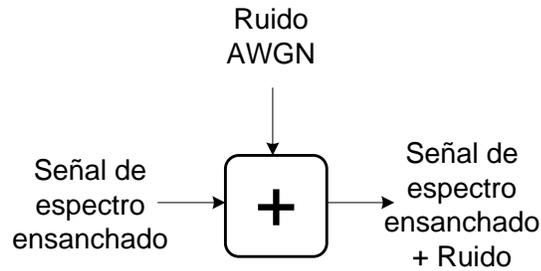


Figura 2.15 Funcionamiento del bloque AWGN

2.4.3 Modelo de simulación: Subsistema UE en modo recepción

El subsistema UE en modo Recepción de manera general contiene los siguientes componentes.

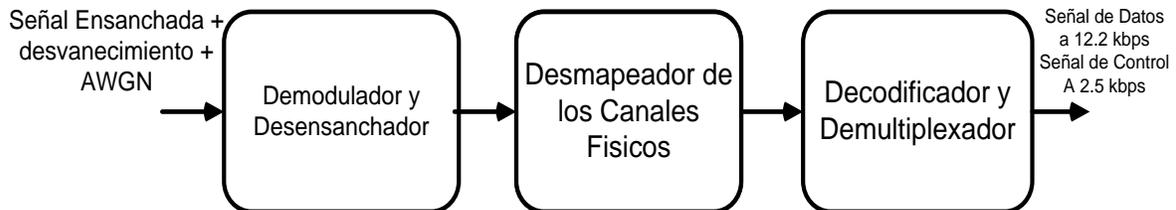


Figura 2.16. Estructura del subsistema UE en modo Recepción

El bloque demodulador y desensanchador de los canales físicos a su vez contiene los siguientes elementos:

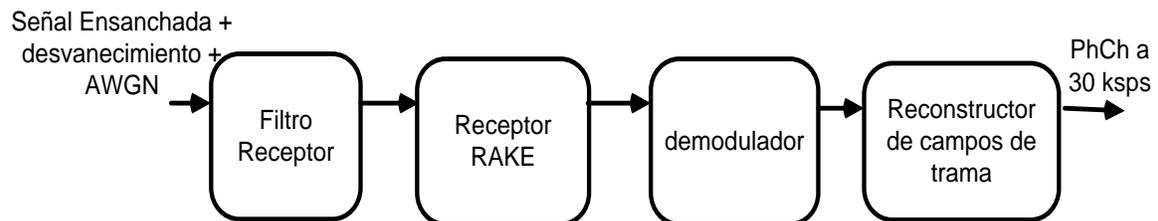


Figura 2.17 Estructura interna del bloque demodulador y desensanchador

El bloque desmapeador de los canales físicos presenta la siguiente estructura interna:

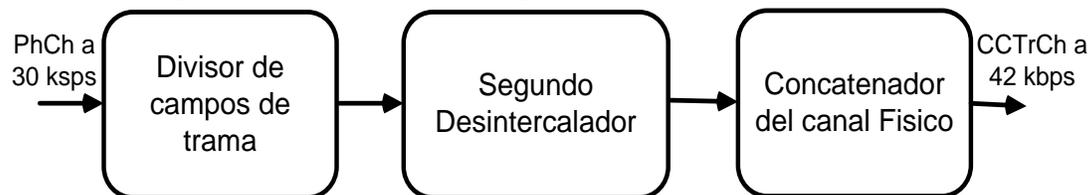


Figura 2.18 Estructura interna del bloque desmapeador de los canales físicos

El bloque de decodificador y demultiplexador de los canales físicos presenta la siguiente estructura interna:

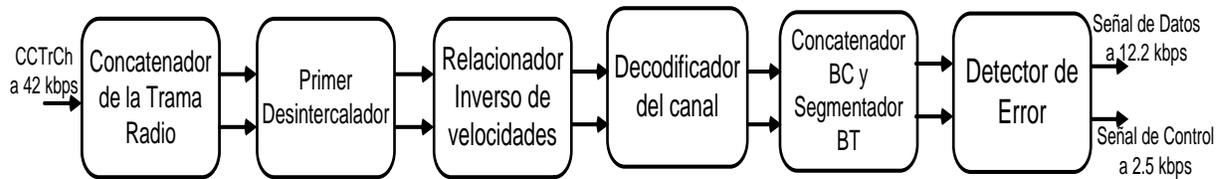


Figura 2.19 Estructura interna del bloque decodificador y demultiplexador

2.4.3.1 Demodulador y desensanchador

- Señal de entrada: señal de espectro ensanchado con un ancho de banda de 3.84MHz, transmitida sobre un ancho de banda de 5MHz debido al efecto del filtro muestreador de pulsos en transmisión, afectada por multitrayectoria y AWGN.
- Señal de salida: señal digital a 30 ksps en tramas radio divididas en 15 campos de trama cada uno de 28 bits más los bits TPC, los bits TFCI y los bits piloto según lo especifica el formato del campo de la trama definido por los niveles superiores
- Variable de salida:
 - Velocidad de símbolos: 30 ksps.
- Señales propias de procesos internos:
El bloque demodulador y desensanchador, identificado como sujeto en el análisis y recolección de información, tiene internamente 4 componentes con sus respectivas señales y variables. Estos se muestran a continuación para cada componente.

2.4.3.1.1 Filtro receptor

- Señal de entrada: señal de espectro ensanchado con un ancho de banda de 3.84MHz, transmitida sobre un ancho de banda de 5MHz debido al efecto del filtro transmisor muestreador de pulsos, afectada por multitrayectoria y AWGN.
- Variables de entrada:
 - Tipo de filtraje.
 - Factor de roll-off.
- Señal de salida: señal filtrada de espectro ensanchado con un ancho de banda de 3.84MHz afectada por multitrayectoria y AWGN.
- Descripción matemática:
La descripción matemática del filtro receptor se describe en la especificación [27]. Los cálculos realizados para este filtro son los mismos que los realizados para el filtro transmisor (2.4.1.3.5).

2.4.3.1.2 Receptor RAKE

- Señal de entrada: señal filtrada de espectro ensanchado con un ancho de banda de 3.84MHz afectada por multitrayectoria y AWGN.
- Variables de entrada:
 - Factor de ensanchamiento.
 - Código de canalización.
 - Número de dedos (Fingers) activos.
 - Fase de los dedos (Fingers) activos.
- Señal de salida: señal digital de valor complejo en fase (Canal I) y en cuadratura (Canal Q) a una velocidad de símbolo de 30 ksps, libre de los efectos de la multitrayectoria y el AWGN.
- Variable de salida:
 - Velocidad de símbolo de salida: 30 ksps.

- Descripción matemática:

El receptor RAKE está compuesto por un grupo de dedos y un bloque combinador. Cada dedo RAKE es un receptor independiente para la señal desde una celda específica en un trayecto de propagación específico. La señal afectada por el desvanecimiento multitrayecto se recupera empleando múltiples dedos, uno por cada trayecto de propagación. Los símbolos de salida de todos los dedos se combinan coherentemente y se sincronizan por el bloque combinador del receptor RAKE para generar los símbolos recibidos de datos. Cada dedo RAKE recibe la contribución de la señal de un trayecto de propagación específico desde una celda dada; esto lo realiza relacionando un flujo de muestra de la señal recibida sobre una longitud de SF muestras con una copia alineada en el tiempo de los códigos de ensanchamiento y de codificación. En la entrada, el dedo RAKE toma muestras a una velocidad de chip, y en la salida la correlación resulta a una velocidad de símbolos.

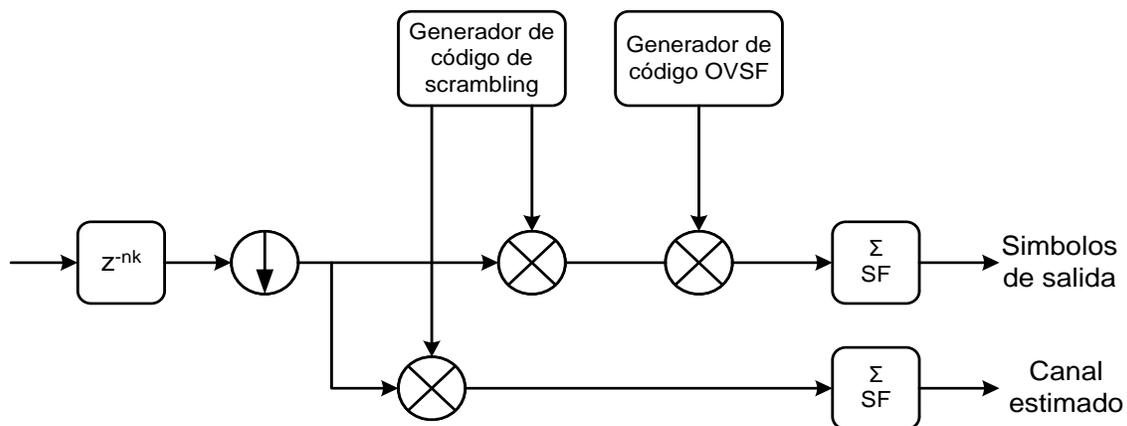


Figura 2.20 Esquema de un dedo RAKE

La figura 2.20 [28] muestra un esquema simplificado del dedo RAKE, que consiste de:

- Una rama acopladora de datos, que consiste de dos multiplicadores para aplicar los códigos de ensanchamiento y de codificación y un acumulador de longitud SF.
- Una rama de estimación del canal que recibe el CPICH, que consiste de un multiplicador del código de canalización y un acumulador de longitud 256.
- Un bloque de memoria para el retardo de muestras de entrada.
- Un bloque que reduce la velocidad de la señal de entrada a la velocidad de chip.
- Generadores de código de ensanchamiento y de codificación.

El papel del bloque combinador en el receptor RAKE es combinar de manera coherente y sincronizada las contribuciones de señales independientes desde los dedos, de tal manera que se maximice la relación señal ruido de la señal combinada resultante. La estrategia de combinación coherente óptima es la combinación MRC (ver sección 1.2.6.3 del capítulo 1).

La figura 2.21 muestra un esquema del combinador MRC [9]. La contribución de señal desde cada dedo es girada en sentido contrario y es adaptada con una fase y magnitud estimada del trayecto de propagación. En términos numéricos, esto se logra multiplicando los símbolos de datos recibidos con el complejo conjugado de la estimación del canal.

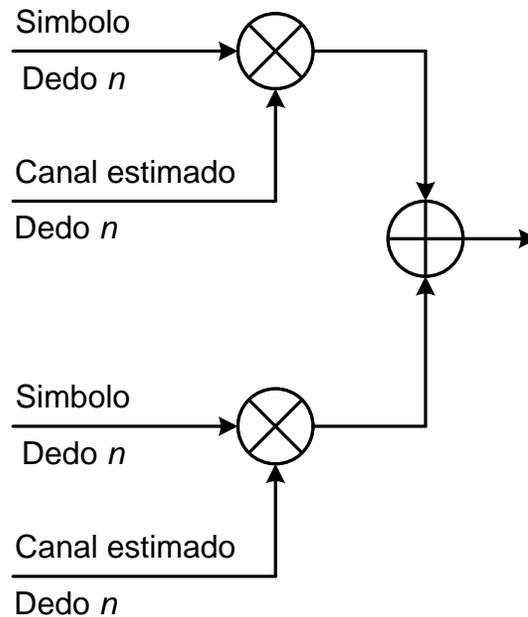


Figura 2.21 Esquema de la estrategia de combinación mas simple.

2.4.3.1.3 Demodulador

- Señal de entrada: señal digital de valor complejo en fase (Canal I) y en cuadratura (Canal Q).

- Variable de entrada:
 - Velocidad de símbolo de entrada: 30 ksps.
- Señal de salida: señales digitales demoduladas de valor real serialmente concatenadas.
- Variable de salida:
 - Velocidad de símbolo de salida: 30 ksps.
- Descripción matemática:

Transforma una señal compleja en dos señales de valor real serialmente concatenadas, combinando las componentes (real y/o imaginaria) de la señal de entrada de manera que los elementos de la componente real se conviertan en los elementos número impar de la señal de salida, mientras que los elementos de la componente imaginaria se conviertan en los elementos número par de la señal de salida [21].

2.4.3.1.4 Reconstructor de los campos de la Trama

- Señal de entrada: señal digital demodulada de valor real.
- Variables de entrada:
 - Número de bits por campo de trama: 40 bits.
 - Retardo del receptor.
 - Velocidad de símbolo de entrada: 30 ksps.
- Señal de salida: señal digital a 30 ksps en tramas radio divididas en 15 campos cada uno de 28 bits más los bits TPC, los bits TFCI y los bits piloto según lo especifica el formato del campo de la trama definido por los niveles superiores
- Variable de salida:
 - Velocidad de símbolos: 30 ksps.
- Descripción matemática:

Este bloque permite el almacenamiento de los símbolos de entrada para generar los campos de la trama de datos, para esto se introduce un retardo correspondiente a un campo de trama que permite el almacenamiento necesario.

2.4.3.2 Desmapeador de los canales físicos

- Señal de entrada: señal digital a 30 ksps en tramas radio divididas en 15 campos cada uno compuesto de 28 bits de datos, dos bits TPC, dos bits TFCI y ocho bits piloto ($28\text{bits}_{\text{datos}}+2\text{bits}_{\text{TPC}}+2\text{bits}_{\text{TFCI}}+8\text{bits}_{\text{Piloto}}$) según lo especifica el formato del campo de la trama.

- Variable de entrada:
 - Velocidad de símbolos: 30 ksps.
- Señal de salida: señal digital en tramas radio a 42kbps, el tamaño de las tramas es de 420 bits cada 10 ms.
- Variables de salida:
 - Velocidad de bits: 42 kbps.
 - Bits por trama: 420 bits cada 10 ms.
- Señales propias de procesos internos:

El bloque desmapeador de los canales físicos, identificado como sujeto en el análisis y recolección de información, tiene internamente 3 componentes con sus respectivas señales y variables. Estas se muestran a continuación para cada componente.

2.4.3.2.1 *Divisor de los campos de la Trama*

- Señal de entrada: señal digital a 30 ksps en tramas radio divididas en 15 campos cada uno de 28 bits de datos + 2 bits TPC + 2 bits TFCI + 8 bits piloto.
- Variables de entrada:
 - Velocidad de símbolos: 30 ksps.
 - Formato del campo de la trama.
 - Retardo de los campos de la trama después de la demodulación.
- Señal de salida: señal digital en un canal físico dedicado DPCH a 42 kbps, el tamaño de las tramas en el DPCH es de 420 bits cada 10 ms.
- Variables de salida:
 - Velocidad de bits: 42 kbps.
 - Bits por trama: 420 bits cada 10 ms.
- Descripción matemática:
La descripción del mapeo del canal físico se estudia en la sección 1.2.6.1.13 del capítulo 1.

2.4.3.2.2 *Segundo Desintercalador*

- Señal de entrada: señal digital en un canal físico dedicado a 42 kbps, el tamaño de las tramas en el DPCH es de 420 bits cada 10 ms.

- Variables de entrada:
 - Velocidad de bits: 42 kbps.
 - Bits por trama en el DPCH: 420 bits cada 10 ms.
 - Patrón de desintercalamiento.

- Señal de salida: señal digital en un canal físico dedicado a 42 kbps, el tamaño de las tramas en el DPCH es de 420 bits cada 10 ms.

- Variables de salida:
 - Velocidad de bits: 42 kbps.
 - Bits por trama en el DPCH: 420 bits cada 10 ms.

- Descripción matemática:
 Intercala los bits de entrada, escribiendo los elementos en una matriz fila por fila y realizando una permutación entre columnas siguiendo el patrón definido anteriormente en la sección 1.2.6.1.12 capítulo 1. A la salida de este bloque se obtienen los bits columna por columna.

2.4.3.2.3 Concatenador del canal físico

- Señal de entrada: señal digital en un canal físico dedicado DPCH a 42 kbps. El tamaño de las tramas en el canal físico dedicado es de 420 bits cada 10 ms.

- Variables de entrada:
 - Velocidad de bits: 42 kbps.
 - Bits por trama en el DPCH: 420 bits cada 10 ms.
 - Número de canales físicos.

- Señal de salida: señal digital a 42 kbps, el tamaño de las tramas es de 420 bits cada 10 ms.

- Variables de salida:
 - Velocidad de bits: 42 kbps.
 - Bits por trama: 420 bits cada 10 ms.

- Descripción matemática:
 Sí se utilizó más de un PhCH en la transmisión, entonces los bits recibidos desde los PhCH disponibles se concatenan para obtener un solo flujo de bits. En este bloque se realiza el proceso inverso al presentado en la sección 2.4.1.2.1 del presente capítulo.

2.4.3.3 Decodificador y Demultiplexador

- Señal de entrada: señal digital a 42 kbps, el tamaño de las tramas es de 420 bits cada 10 ms.

- Variables de entrada:
 - Velocidad de bits: 42 kbps.
 - Bits por CCTrCH: 420 bits cada 10 ms.
- Señales de salida: señales digitales que corresponden a los datos de información de usuario y a la información de control.
- Variables de salida:
 - Velocidad de bits (12.2 kbps).
 - Tamaño de cada bloque de transporte:
 - Canal dedicado de tráfico: 244 bits cada 20 ms.
 - Canal dedicado de control: 100 bits cada 40ms.
- Señales propias de procesos internos:

El bloque de decodificador y demultiplexador, identificado como sujeto en el análisis y recolección de información, tiene internamente 6 componentes con sus respectivas señales y variables. Estas se muestran a continuación para cada uno de los componentes.

2.4.3.3.1 Concatenador de la trama radio

- Señal de entrada: señal digital en tramas radio a 42 kbps. El tamaño de las tramas es de 420 bits cada 10 ms.
- Variables de entrada:
 - Velocidad de bits: 42 kbps.
 - Bits por trama: 420 bits cada 10 ms.
- Señales de salida: señal digital de datos a 34.3 kbps en un bloque de transporte compuesto por el DTCH con 686 bits cada 20 ms. Señal digital de control a 7.7 kbps en un bloque de transporte compuesto por el DCCH con 308 bits cada 40 ms.
- Variables de salida:
 - Velocidad de bits de datos: 34.3 kbps.
 - Velocidad de bits de control: 7.7 kbps.
 - Bits por DTCH: 686 bits cada 20ms.
 - Bits por DCCH: 308 bits cada 40ms.
- Descripción matemática:

Cada intervalo de tiempo de transmisión de 20ms, la secuencia de bits de entrada se concatena y se mapea en el canal dedicado de tráfico (DTCH) para obtener 686 bits por canal DTCH. Cada intervalo de tiempo de transmisión de 40 ms, la secuencia de bits de entrada se concatena y se

mapea en el canal dedicado de control (DCCH) para obtener 308 bits por canal DCCH. Este bloque realiza una operación inversa a la mostrada en la sección 2.4.1.1.6 del presente capítulo.

2.4.3.3.2 *Primer desintercalador*

- Señales de entrada: señal digital de datos a 34.3 kbps en un bloque de transporte compuesto por el DTCH con 686 bits cada 20 ms. Señal digital de control a 7.7 kbps en un bloque de transporte compuesto por el DCCH con 308 bits cada 40 ms.
- Variables de entrada:
 - Velocidad de bits de datos: 34.3 kbps.
 - Velocidad de bits de control: 7.7 kbps.
 - Bits por DTCH: 686 bits cada 20ms.
 - Bits por DCCH: 308 bits cada 40ms.
 - Patrón de desintercalamiento.
- Señales de salida: señal digital de datos a 34.3 kbps en un bloque de transporte compuesto por el DTCH con 686 bits cada 20 ms. Señal digital de control a 7.7 kbps en un bloque de transporte compuesto por el DCCH con 308 bits cada 40 ms.
- Variables de salida:
 - Velocidad de bits de datos: 34.3 kbps.
 - Velocidad de bits de control: 7.7 kbps.
 - Bits por DTCH: 686 bits cada 20ms.
 - Bits por DCCH: 308 bits cada 40ms.

- Descripción matemática:

Intercala los bits de entrada, escribiéndolos en una matriz fila por fila y realizando una permutación entre columnas siguiendo el patrón definido en la sección 1.2.6.1.7 del capítulo 1. A la salida de este bloque se obtienen los bits columna por columna.

2.4.3.3.3 *Relacionador inverso de velocidades*

- Señales de entrada: señal digital de datos a 34.3 kbps en un bloque de transporte compuesto por el DTCH con 686 bits cada 20 ms. Señal digital de control a 7.7 kbps en un bloque de transporte compuesto por el DCCH con 308 bits cada 40 ms.
- Variables de entrada:
 - Velocidad de bits de datos: 34.3 kbps.
 - Velocidad de bits de control: 7.7 kbps.
 - Bits por DTCH: 686 bits cada 20ms.
 - Bits por DCCH: 308 bits cada 40ms.

- Atributo de correspondencia de velocidades.
- Porcentaje de Puncturing o repetición.
- Señales de salida: señal de datos a 40.2 kbps en un bloque de transporte con un DTCH de 804 bits cada 20 ms. Señal de control a 9 kbps en un bloque de transporte con un DCCH de 360 bits cada 40ms.
- Variables de salida:
 - Velocidad de bits de datos: 40.2 kbps.
 - Velocidad de bits de control: 9 kbps.
 - Bits por DTCH: 804 bits cada 20ms.
 - Bits por DCCH: 360 bits cada 40ms.
- Descripción matemática:

La correspondencia inversa de velocidades provee un mecanismo para mapear los bits de cada PhCH sobre los bits de datos del TrCH. En este bloque se realiza la operación inversa al bloque relacionador de velocidades. Para los bits que han sido repetidos, se combinan las decisiones para dar una indicación más confiable del valor del bit. Para los bits que han sido eliminados en el relacionador de velocidades, las decisiones que indican que no se tiene información al respecto se insertan en su lugar en este bloque. Una descripción más detallada acerca del funcionamiento de este bloque se puede ver en la sección 2.4.1.1.4 del presente capítulo, con la diferencia de que en este caso se realiza el proceso inverso al mostrado en la sección indicada.

2.4.3.3.4 Decodificador del canal

- Señales de entrada: señal de datos a 40.2 kbps en un bloque de transporte con un DTCH de 804 bits cada 20 ms. Señal de control a 9 kbps en un bloque de transporte con un DCCH de 360 bits cada 40ms.
- Variables de entrada:
 - Velocidad de bits de datos: 40.2 kbps.
 - Velocidad de bits de control: 9 kbps.
 - Bits por DTCH: 804 bits cada 20ms.
 - Bits por DCCH: 360 bits cada 40ms.
 - Tipo de codificación.
- Señales de salida: señal digital de datos a 13kbps en un bloque de transporte compuesto por el DTCH de 260 bits cada 20ms. Señal digital de control a 2.8 kbps en un bloque de transporte compuesto por el DCCH de 112 bits cada 40ms.
- Variables de salida: [DTCH DCCH]
 - Numero de bloques de transporte: [1 1].

- Bits por canal de transporte por TTI: [260 112].
 - Numero de palabras de código: [1 1].
 - Bits por palabra de código: [260 112].
 - Bits de relleno: [0 0].
- Descripción matemática:
El algoritmo de Viterbi es el método usual para decodificar los códigos convolucionales. Este algoritmo escoge la secuencia más probable de bits para cada bloque de código, por esto es comúnmente referido como el MLSE (Maximum Likelihood Sequence Estimator, Estimador de Secuencia Máxima más Probable). El algoritmo de Viterbi trabaja utilizando la versión recibida de la secuencia de bits codificados para encontrar el trayecto más probable a través del diagrama de Trellis que representa la máquina de estados del codificador. Una vez se conoce el trayecto más probable, los bits de datos que podrían haber causado que el codificador siguiera este trayecto pueden implicarse y estos bits son la salida del algoritmo de Viterbi. Una descripción más detallada acerca del algoritmo de Viterbi se puede encontrar en [20].

2.4.3.3.5 Concatenador del BC y Segmentador del BT

- Señales de entrada: señal digital de datos a 13 kbps en un bloque de transporte con el DTCH de 260 bits cada 20ms. Señal digital de control a 2.8 kbps en un bloque de transporte con el DCCH de 112 bits cada 40ms.
- Variables de entrada: [DTCH DCCH]
 - Numero de bloques de transporte: [1 1].
 - Bits por canal de transporte por TTI: [260 112].
 - Numero de palabras de código: [1 1].
 - Bits por palabra de código: [260 112].
 - Bits de relleno: [0 0].
- Señales de salida: señal digital de datos a 13kbps en un bloque de transporte compuesto por el canal DTCH con un tamaño de 260 bits cada 20ms. Señal digital de control a 2.8 kbps en un bloque de transporte compuesto por el canal DCCH con un tamaño 112 bits cada 40 ms.
- Variables de salida:
 - Velocidad de bits de datos: 13 kbps.
 - Velocidad de bits de control: 2.8 kbps.
 - Bits por DTCH: 260 bits cada 20ms.
 - Bits por DCCH: 112 bits cada 40ms.
- Descripción matemática:

Este bloque realiza la operación inversa al concatenador BT y segmentador BC. Si el número de bits que ingresan a este bloque en un TTI es mayor que Z (véase sección 2.4.1.1.2 del presente capítulo), entonces se realiza la concatenación del bloque de código antes de la segmentación del bloque de transporte. El tamaño máximo del bloque de código depende de que tipo de codificación (convolucional ó turbo) se utilizó para el TrCH.

2.4.3.3.6 *Detector de error*

- Señales de entrada: señal digital de datos a una velocidad de 13 kbps en el canal DTCH con 260 bits (244 bits de datos más 16 bits del CRC) cada 20 ms. Señal digital de control a una velocidad de 2.8 kbps en el canal DCCH con 112 bits (100 bits de control mas 12 bits del CRC) cada 40 ms.

- Variables de entrada:
 - Polinomio generador de CRC.
 - Velocidad de bits de datos: 13 kbps.
 - Velocidad de bits de control: 2.8 kbps.
 - Bits por DTCH: 260 bits cada 20ms.
 - Bits por DCCH: 112 bits cada 40ms.

- Señales de salida: señal digital de datos a 12.2 kbps en un bloque de transporte que se compone del DTCH con un tamaño de 244 bits. Señal digital de control a 2.5 kbps en un bloque de transporte que se compone del DCCH con un tamaño de 100 bits. El DTCH ingresa a este bloque cada 20ms mientras que el DCCH ingresa a este bloque cada 40ms.

- Variables de salida:
 - Velocidad de bits de datos: 12.2kbps.
 - Velocidad de bits de control: 2.5 kbps.
 - Bloque de transporte: DTCH con 244 bits cada 20ms.
 - Bloque de transporte: DCCH con 100 bits cada 40ms.

- Descripción matemática:

El mismo proceso mostrado en la sección 2.4.1.1.1 del presente capítulo se realiza en este bloque generando los bits CRC nuevamente, estos bits son comparados con los bits CRC recibidos. Si los dos grupos de bits son iguales entonces no se ha detectado error (llamado CRC pass), en caso contrario se ha detectado al menos un error entre los A_i bits de datos y/o L_i bits CRC (llamado CRC fail). Este bloque además remueve los bits redundantes de las tramas de datos de entrada que se añadieron en el bloque generador de CRC.

2.5 EVALUACIÓN DEL MODELO

2.5.1 Chequeo de variables

Después de analizar cada uno de los objetos, y teniendo en cuenta que los estándares de 3GPP serie TS25, se puede decir que el tipo y número de variables que se han definido para cada bloque satisfacen los requisitos para la representación de la información de entrada y salida de cada uno de los subsistemas del sistema total.

2.5.2 Complejidad resultante de cada objeto (proceso)

El sistema que se simulará presenta una alta complejidad, sin embargo el análisis realizado está enfocado hacia subsistemas que facilitan la descripción y definición de los atributos y servicios de cada bloque u objeto, lo cual permite visualizar claramente el comportamiento de los procesos de interés definidos en los objetivos y fines de esta simulación. Durante el proceso de la simulación se maneja un alto nivel de abstracción el cual disminuirá progresivamente permitiendo, comprobar y visualizar las variables, y las señales a lo largo de todo el sistema.

2.5.3 Evaluación de objetivos

De acuerdo al modelo planteado y a los objetivos definidos, se puede concluir que este permite evaluar y observar el comportamiento de los diferentes procesos que actúan sobre la señal de entrada a cada subsistema, además aplicar este modelo de simulación permite analizar el desempeño de WCDMA en el DL en los puntos de interés en los cuales se considera que la señal puede degradarse.

El modelo por medio de los objetos y variables de cada subsistema permite la visualización y análisis de los procesos de codificación y multiplexación, mapeo de los canales físicos, ensanchamiento y modulación, y los procesos inversos en recepción que se aplican a la señal de información que se introduce al sistema.

Como consecuencia de la correcta definición de variables y de la adecuada subdivisión del sistema se puede decir que el modelo implementado representa adecuadamente al sistema y permite observar sus principales características por medio del análisis de los datos obtenidos.

2.5.4 Complejidad del proyecto

Con este proyecto se simulará el enlace unidireccional estación base – móvil a 12.2kbps del sistema WCDMA en modo FDD a nivel físico. Se omitirán características y propiedades del sistema WCDMA en modo TDD, y del sistema WCDMA operando en el enlace ascendente ya que no tienen relación directa con este proyecto. Se tomo la velocidad de 12.2kbps, omitiendo otras velocidades como la velocidad de transmisión de datos de 64kbps o algunas otras velocidades a las que WCDMA puede trabajar, debido a la facilidad del modelado con esta velocidad, pero los procesos descritos en este capítulo aplican para todas las velocidades en las que WCDMA opera.

Los cambios que se obtienen cambiando de velocidad de transmisión son las velocidades de las señales y el tamaño de cada canal de entrada a cada proceso. En la implementación de la simulación se tomarán en cuenta diferentes velocidades de transmisión con las cuales se comprobarán las ventajas de WCDMA sobre otras tecnologías 2G y 2.5G. Teniendo en cuenta la complejidad del modelo obtenido, y las características mencionadas del sistema a simular, se puede afirmar que es viable continuar con el proyecto.

CAPITULO 3

EXPERIMENTOS REALIZADOS Y ANALISIS E INTERPRETACION DE RESULTADOS OBTENIDOS

3.1 INTRODUCCIÓN

El presente capítulo contiene la implementación de pruebas, experimentos realizados y el análisis e interpretación de resultados obtenidos sobre la simulación del enlace descendente BS - UE a nivel físico del sistema WCDMA operando en el modo FDD. La interpretación y análisis de pruebas y experimentos permitió obtener resultados que son de gran utilidad para la comprensión del sistema y de las ventajas de este sobre otros sistemas.

3.2 IDENTIFICACION, DESCRIPCION Y RESULTADOS DE LOS EXPERIMENTOS

3.2.1 Primer experimento: análisis cualitativo de la técnica de multicanalización DSSS y Receptor Rake.

Este experimento buscó evaluar por medio de la simulación la técnica de multicanalización DSSS de manera cualitativa realizando observaciones en el dominio del tiempo, en el dominio de la frecuencia, y las constelaciones en diferentes etapas del procesamiento de la señal en la banda base. Además se buscó demostrar el buen funcionamiento del simulador al observar que el comportamiento de la señal esté bajo lo previsto.¹⁷

3.2.1.1 Descripción

La prueba se divide en tres partes, la primera es la observación de la señal en el dominio del tiempo, la segunda es la observación de la señal en el dominio de la frecuencia, y la última es la observación de las constelaciones en algunos puntos relevantes del sistema simulado. En el dominio del tiempo se analizó el ensanchamiento de la señal compleja al comparar su espectro de frecuencia antes y después de este proceso, (ver figura 1.13 del capítulo 1 y sección 2.4.1.3.2 del capítulo 2).

En la prueba se visualizó la parte real e imaginaria de la señal para la velocidad de transmisión de 12.2 kbps y utilizando un canal estático AWGN con una relación Eb/No de 7.4 dB como define [27] [9], también se observó la forma de la señal antes del muestreador de pulsos (ver sección 2.4.1.3.4 del capítulo 2) donde la señal del canal DCH se suma con las señales de los canales a ser transmitidos. Para esta prueba se utilizó el bloque “Scope” de la librería de visualizadores del

¹⁷ Esto es equivalente a un proceso de validación de la simulación.

Simulink Blockset. En el dominio de la frecuencia se visualizó el espectro de la señal de banda estrecha a transmitir (antes del ensanchamiento), el espectro de la señal ensanchada antes del muestreador de pulsos (antes de limitarla en banda, ver sección 2.4.1.3.5), el espectro de la señal que se envía al canal (después del muestreador de pulsos), y por último el espectro de la señal recibida (señal afectada por las características del canal). Para esta prueba se utilizó el bloque “Spectrum Scope” de la librería de visualizadores de procesamiento de la señal del Signal Processing Blockset. Por último se observó la constelación de la señal recibida, la señal después del rotador y la señal después del combinador en el receptor Rake (ver sección 2.4.3.1.2). Para esto se utilizó el bloque “Discrete-Time Scatter Plot Scope” de la librería visualizadores de comunicaciones del Communication Blockset.

3.2.1.2 Resultados

- Señal en el dominio del tiempo

En la figura 3.1 y 3.2 se muestran las visualizaciones de la señal en el dominio del tiempo.

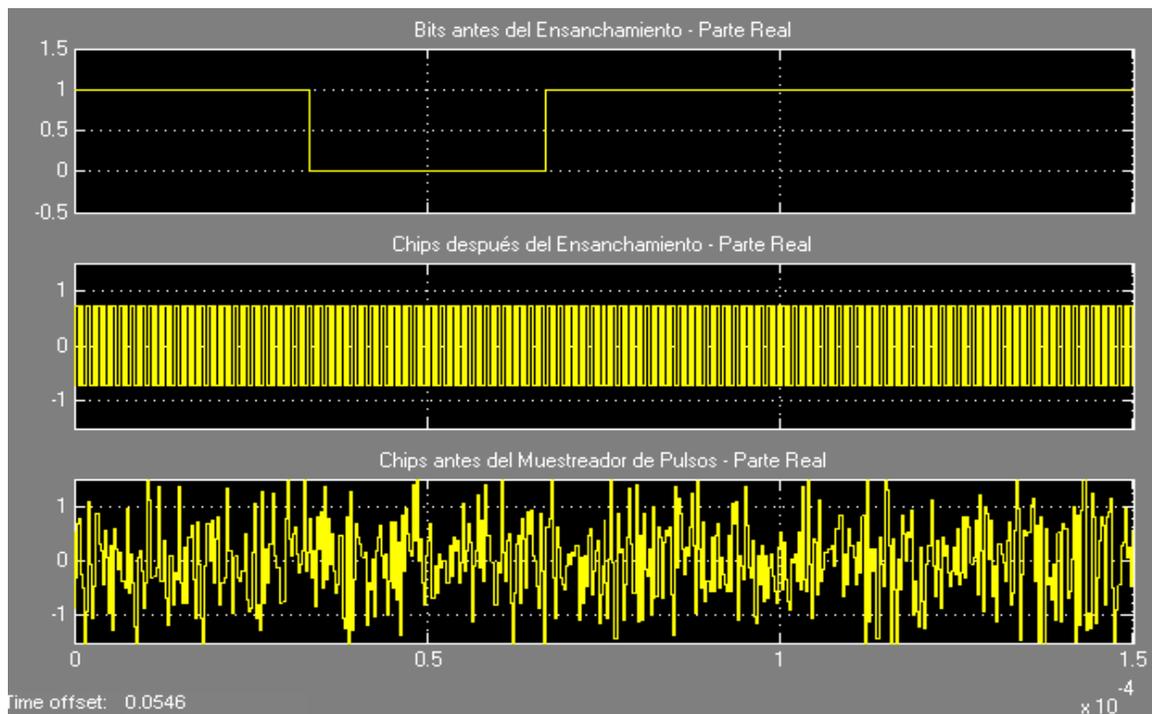


Figura 3.1. Parte real de las señales en el dominio del tiempo.

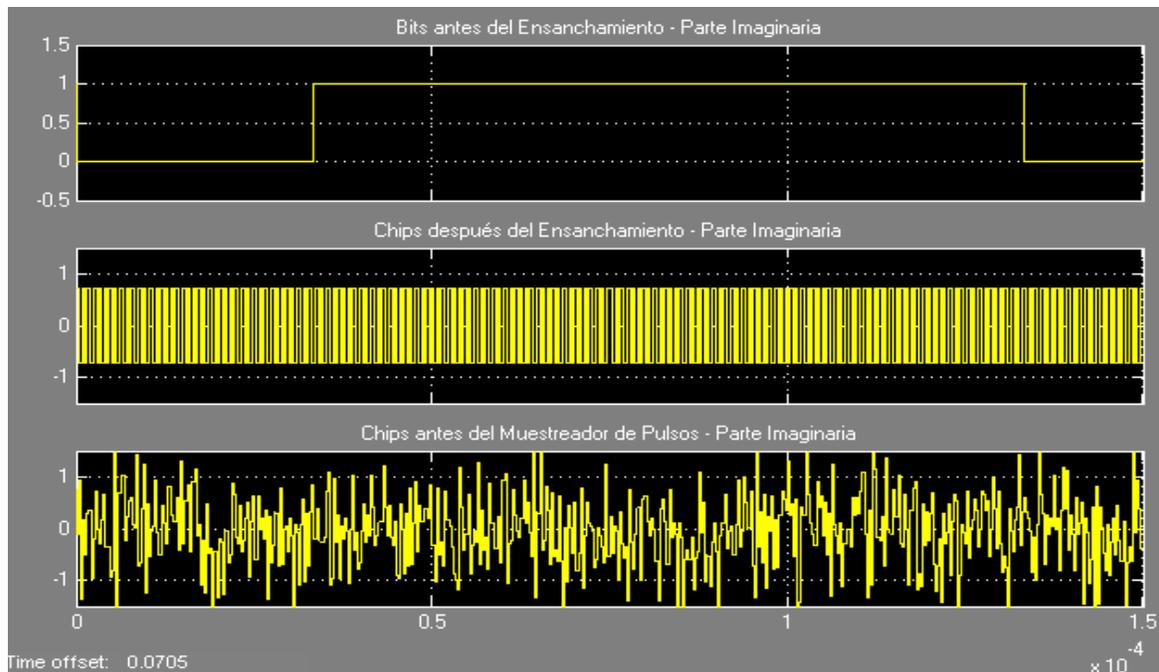


Figura 3.2. Parte imaginaria de las señales en el dominio del tiempo.

Tanto en la figura 3.1 como en la figura 3.2, se pueden observar tres campos, que corresponden a los puntos de la cadena de procesamiento de la señal que se desean observar. En la parte superior de cada figura se observa el bit inmediatamente antes de ser ensanchado, en la parte central de cada figura se observa la señal después de ser ensanchada, es decir la señal de bits de entrada (parte superior) se multiplica por un código de ensanchamiento. Se visualiza fácilmente que esta señal tiene un periodo de bit mucho menor que el de la señal de entrada de bits, ya que por cada bit a la entrada de datos se tienen 128 chips (debido a que para la velocidad transmisión 12.2kbps el SF es de 128), con esto se puede comprobar que efectivamente la simulación está aplicando bien el concepto DSSS. Por último en la parte inferior de las figuras se tiene la señal antes del muestreador de pulsos, esta señal representa la suma de todos los canales después de la estimación de potencia, de aquí que presenta una amplitud irregular como se observa en las figuras ya que el estimador de potencia le da un nivel diferente a cada canal para luego ser sumado, obsérvese que el periodo de chip no se ve alterado.

En las figuras anteriores también se observa que antes del ensanchamiento la señal de entrada solo toma valores positivos entre 0 y 1, mientras que después del ensanchamiento la señal de salida es bipolar tomando valores entre -1 y 1.

Como se esperaba, en las dos figuras se tienen campos similares, y es debido a que se realiza un proceso similar tanto para la componente real como para la imaginaria, tal como se encuentra propuesto en [21].

3.2.1.2.1 Señal en el dominio de la frecuencia

En las figura 3.3, 3.4, 3.5 y 3.6 se observa el espectro de la señal en diferentes puntos del procesamiento de la señal.

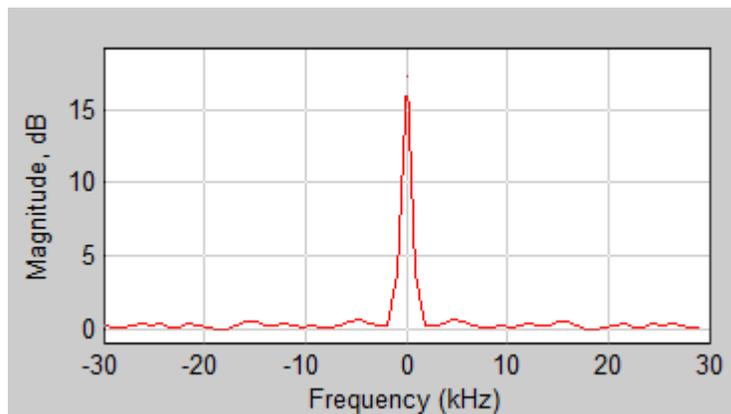


Figura 3.3. Espectro de la señal de banda estrecha a ser transmitida.

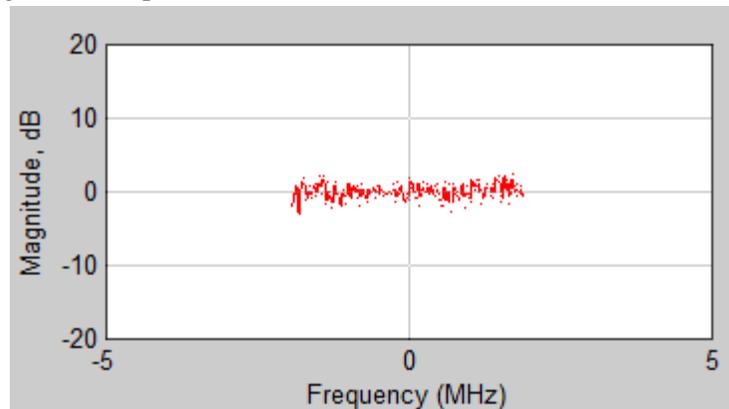


Figura 3.4. Espectro de la señal ensanchada (antes del muestreador de pulsos).

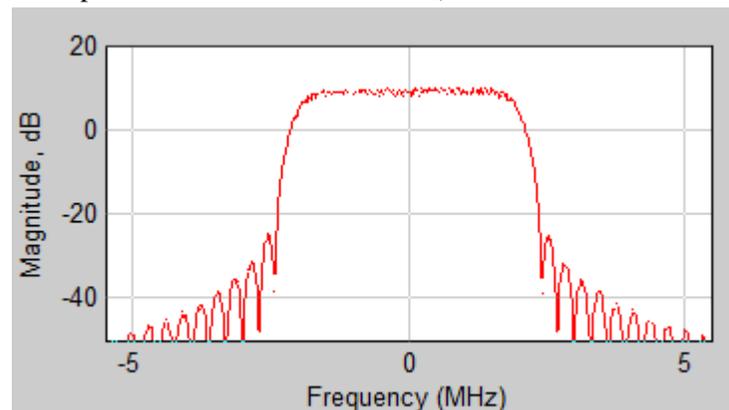


Figura 3.5. Espectro de la señal de banda limitada a 5MHz a ser transmitida.

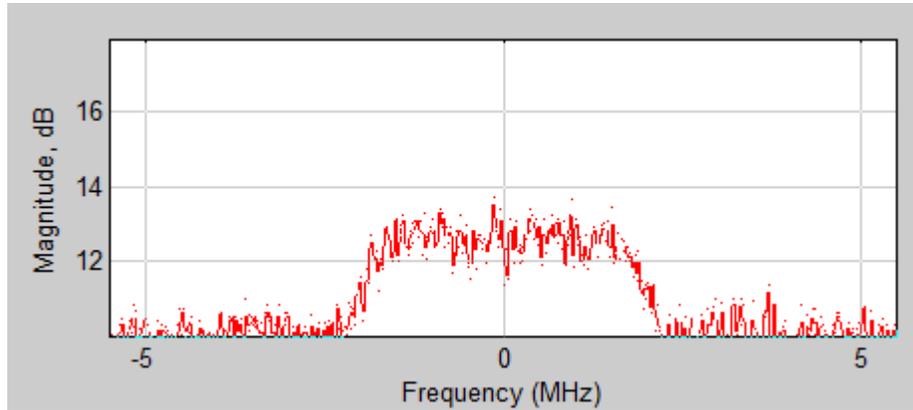


Figura 3.6. Espectro de la señal de banda limitada a 5MHz recibida.

La figura 3.3 muestra el espectro de la señal de 12.2Kbps a ser transmitida, nótese que esta señal tiene un ancho de banda extremadamente angosto y una magnitud cercana a los 15.5dB (en comparación con la señal ensanchada), debido a que al ser el pulso muy angosto la energía se concentra en la frecuencia central, pero existen armónicos hasta 30Khz y hasta -30Khz que es el ancho de banda de la señal en este punto. En la figura 3.4, se puede observar el espectro de la señal que ha sido ensanchada, de forma contraria a la observada anteriormente, esta señal tiene un ancho de banda muy grande (3.84MHz) y la magnitud de la potencia es muy baja. En la gráfica 3.5, se puede observar que al pasar por el filtro muestreador de pulsos, la señal en este punto se limita en una banda de 5MHz (Compuesta por la señal portadora más la respuesta del filtro), característico de WCDMA, para ser enviada por el medio de transmisión. Haciendo una comparación entre las figuras 3.3 y 3.5, se puede comprobar que se está aplicando apropiadamente la técnica de multicanalización DSSS. Por último en la figura 3.6 se tiene el espectro de la señal recibida, en esta se puede ver la forma en que el ruido (para este caso se está aplicando AWGN) afecta a la señal produciendo una degradación en ella con respecto a la señal observada en la figura 3.5.

3.2.1.2.2 Constelaciones

En las figuras 3.7, 3.8, 3.9 y 3.10 se muestran las constelaciones de la señal transmitida, la señal recibida, la señal después del rotador y la señal después del combinador en el receptor Rake. El observar la señal en estos puntos tiene por objeto demostrar de manera visual la señal idealmente mapeada en una constelación QPSK en la BS, el efecto que tiene el medio de transmisión sobre la señal y el correcto funcionamiento del receptor Rake en el UE.

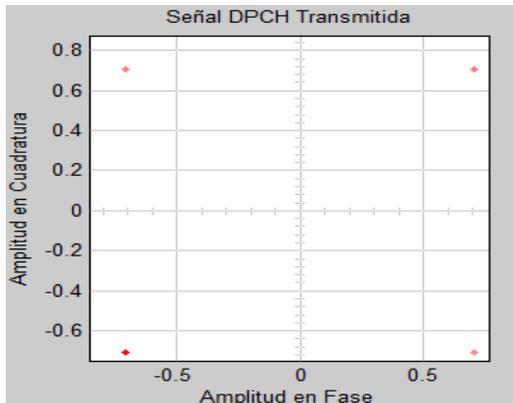


Figura 3.7. Constelación de la señal transmitida por la Estación Base.

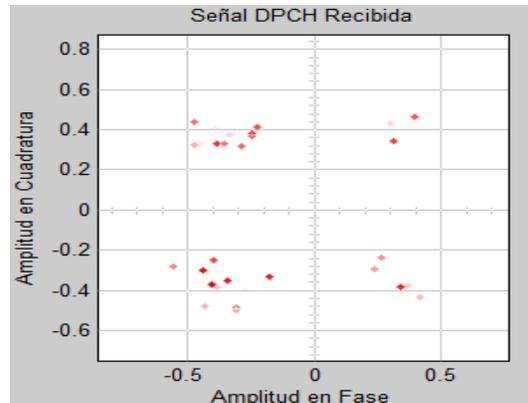


Figura 3.8. Constelación de la señal recibida a la entrada del receptor Rake.

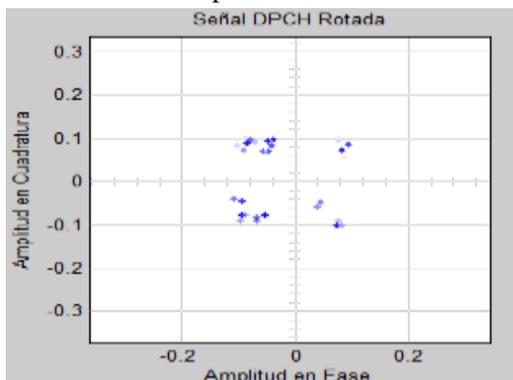


Figura 3.9. Constelación de la señal a la salida del rotador en el receptor Rake

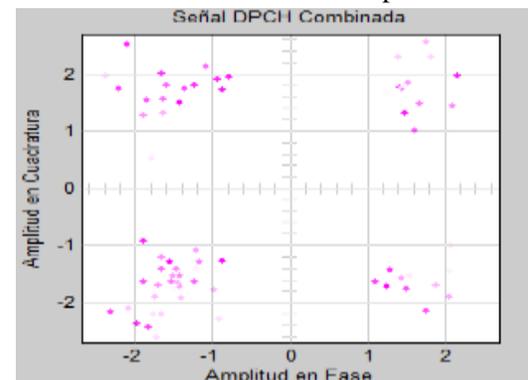


Figura 3.10. Constelación de la señal a la salida del combinador en el receptor Rake

Como ya se mencionó, en la figura 3.7 se muestra la constelación de la señal transmitida por la BS después de que se ha realizado la modulación de la señal, en esta figura se muestra que la señal a transmitir se mapea idealmente sobre una constelación QPSK y que no hay ningún tipo de distorsión y/o ruido sobre la señal. En la figura 3.8 se muestran la constelación de la señal recibida a la entrada del receptor Rake, en esta figura se pueden observar dos cosas fundamentales, la primera es que se está recibiendo la señal en la constelación QPSK en la que se mapeo en el transmisor, y la segunda es que la señal es afectada por el ruido lo que hace que los puntos sobre la constelación se muevan desde sus posiciones ideales y se generen errores cuando estos superen los márgenes de decisión del receptor. En la figura 3.9, se visualiza el proceso de rotación que se explica en la sección 1.2.6.3 del capítulo 1 y en la sección 2.4.3.1.2 del capítulo 3, en esta figura se identifica una constelación más definida que en la figura 3.8, gracias a la compensación en la fase que se realiza por parte del rotador, el cual aunque sacrifica amplitud en las componentes, tiene un margen de fase más exacto para la definición del símbolo. Por último en la figura 3.10, se ve la señal después del combinador Rake. En esta figura se puede observar que la señal tiene una mayor amplitud debido a que en este punto se combinan las amplitudes de cada dedo Rake, facilitando así la detección del

símbolo. Con la observación de las figuras se puede demostrar el buen funcionamiento del receptor rake.

Al modificar la relación E_b/N_0 , en valores superiores e inferiores de los especificados en [27] se obtienen las figuras 3.11 y 3.12 para la respuesta de la señal en frecuencia y para su respectiva constelación en recepción. En la transmisión las figuras 3.5 y 3.7 también aplican para estos casos debido a que el canal afecta la recepción de la señal no la transmisión.

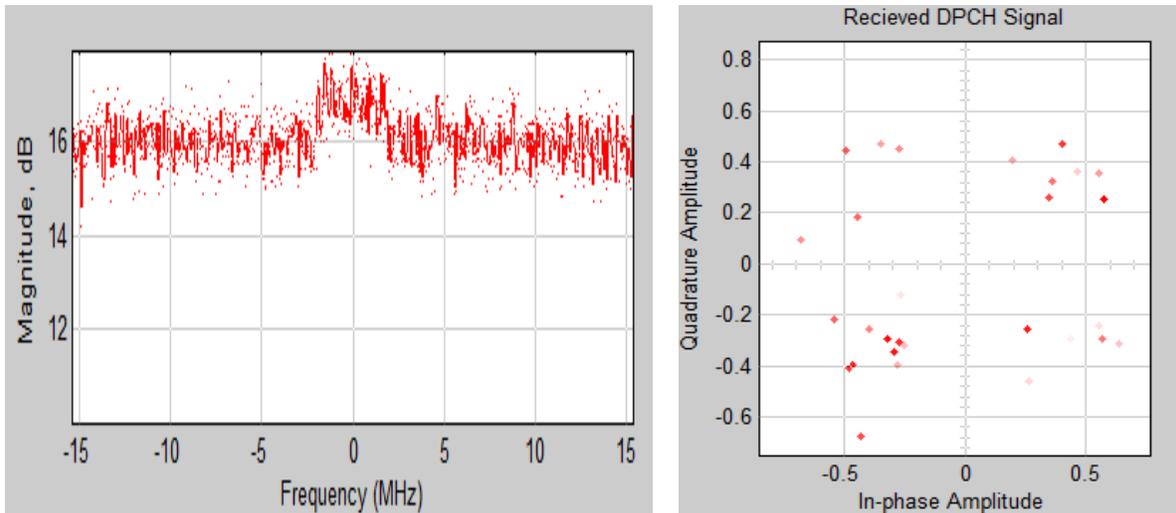


Figura 3.11. Espectro de frecuencia de la señal recibida y constelación de la señal en recepción para una relación E_b/N_0 baja.

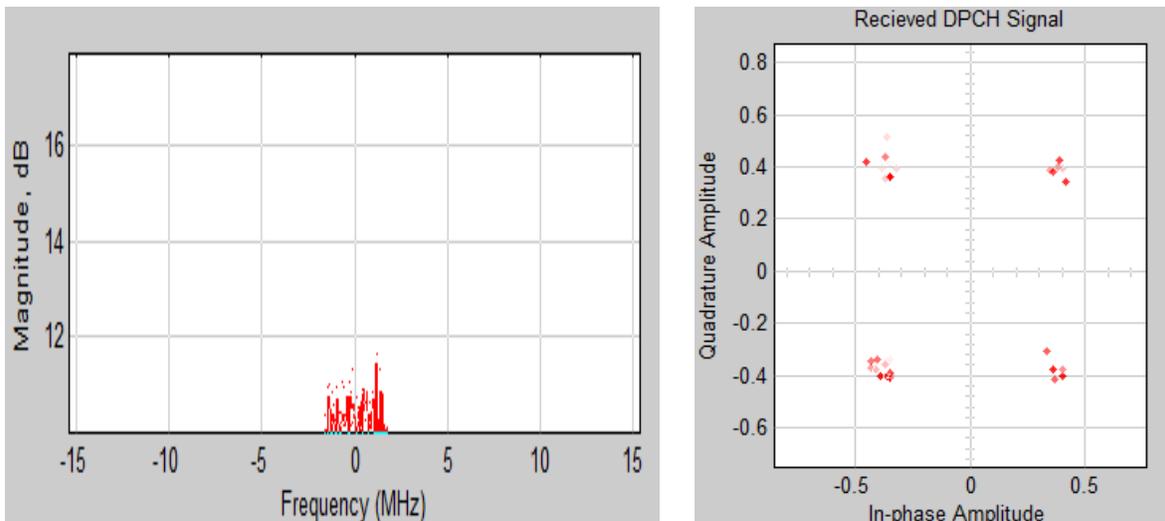


Figura 3.12. Espectro de frecuencia de la señal recibida y constelación de la señal en recepción para una relación E_b/N_0 alta.

En la figura 3.11 se puede observar que al disminuir la relación E_b/N_0 con respecto a la especificación [27], la magnitud de la señal recibida se incrementa considerablemente debido a que

el ruido introducido en la señal es significativo. En este caso la señal (en un ancho de banda de 3.84MHz) tiende a confundirse con ruido y es difícil para el receptor reconstruir los datos enviados. En la constelación mostrada en la figura 3.11 se observa que los datos recibidos no se mapean adecuadamente en la constelación QPSK, por lo que se ve afectada la capacidad de decisión del receptor introduciendo errores al reconstruir los datos transmitidos. Por el contrario en la figura 3.12 se observa que al aumentar la relación E_b/N_0 con respecto a la especificación [27], la magnitud de la señal recibida desciende significativamente debido a que las componentes de ruido son casi nulas. En este caso se observa que hay presencia de la señal en el ancho de banda de transmisión y hay ausencia de componentes de ruido o componentes de la señal transmitida en frecuencias diferentes a las del ancho de banda de transmisión, por lo que la señal puede reconstruirse satisfactoriamente. En la constelación mostrada en la figura 3.12 se observa que la señal se mapea idealmente sobre la constelación QPSK, por lo que no se ve afectada la capacidad de decisión del receptor, y por lo tanto los bits transmitidos se reciben sin errores.

3.2.2 Segundo experimento: variación de velocidades de transmisión de datos contra variación de AWGN¹⁸.

La realización de este experimento tiene como objetivo la obtención de la BLER (Block Error Rate, Tasa de Error de Bloque) y la obtención de la BER para las velocidades de transmisión de 12.2kbps, 64kbps, 144kbps y 384kbps, variando la relación E_b/N_0 . También se busca con este experimento obtener los valores mínimos que puede tomar la relación y compararlos con los obtenidos por medio de los datos especificados en [27] para así comprobar que en la simulación el sistema se comporta de acuerdo a las especificaciones del 3GPP.

3.2.2.1 Variables

- Velocidad de transmisión: 12.2kbps, 64kbps, 144kbps, 384kbps.
- Energía de bit a densidad de ruido.

3.2.2.2 Descripción

Ubicando en el subsistema Medio de Transmisión (ver sección 2.4.2 del capítulo 2) solo un canal AWGN (Caso AWGN estático) se varió la relación E_b/N_0 por encima y por debajo de los valores obtenidos por medio de los datos especificados por el 3GPP ([27]), para conocer cual es el mínimo valor que puede tomar esta relación para cada velocidad de transmisión (12.2kbps, 64kbps, 144kbps, 384kbps), y también para analizar el comportamiento de la BER cuando se sobrepasa este valor mínimo. Con estos datos se graficó la curva de la relación E_b/N_0 contra BER para comparar el comportamiento teórico con el comportamiento del sistema en la simulación.

¹⁸ El Canal AWGN estático hace referencia a un canal afectado únicamente por AWGN, es decir, no se incluye ni propagación en condiciones de movimiento ni desvanecimiento multirrayecto.

3.2.2.3 Resultados

En la tabla 3.2 se muestran los valores teóricos de la relación E_b/N_0 , que se obtienen por medio de la ecuación 3.1 [2].

$$\frac{E_b}{N_0} = 10 \log_{10} \left(\frac{\text{Velocidad de chip} \cdot E_c}{\text{Velocidad de bit} \cdot I_{or}} \cdot \frac{1}{1 - FO + I_{or}/I_{oc}} \right) \quad (3.1)$$

Donde E_c/I_{or} es la relación de la energía promedio transmitida por chip a la densidad espectral de potencia total transmitida, I_{or}/I_{oc} es la relación de interferencia entre dos celdas y FO es el factor de ortogonalidad que para un usuario estático toma el valor de 1. La relación E_c/I_{or} y la relación I_{or}/I_{oc} están dadas en [27]. La velocidad de chip es de 3.84 Mcps y la velocidad de bit puede ser 12.2kbps, 64kbps, 144kbps o 384kbps. Los valores de las variables dentro del paréntesis están en veces y el valor de la relación esta en dB.

Los valores que toma la relación E_b/N_0 comparados con los resultados obtenidos por medio de la simulación están muy cercanos, aunque para alcanzar una BLER y una BER de aproximadamente cero en la simulación se necesita una relación E_b/N_0 más alta que la definida en la especificación. Se considera que este aumento en la relación E_b/N_0 se debe a pérdidas que introduce MATLAB debido a que no existe una precisión total en los bloques utilizados para la medida de BER y BLER. Además en la simulación se considera el efecto del canal de señalización que ocasiona una necesidad de la relación E_b/N_0 más alta, mientras que en la práctica en algunos casos se omite debido a que este canal solo se activa cuando se necesita señalización. En la práctica también se asume que la estación base promedio tiene un desempeño de 1.5dB por encima del requerimiento 3GPP, por lo que en la práctica la relación E_b/N_0 tiende a disminuir un poco.

Un punto a considerar en la práctica es la diversidad de transmisión, la cual podría disminuir significativamente los valores de la relación E_b/N_0 mejorando el desempeño del sistema [9]. La tabla 3.1 muestra los valores teóricos de las relaciones E_c/I_{or} , I_{or}/I_{oc} especificadas por el 3GPP en [27], además muestra el valor de la relación E_b/N_0 teórica calculado por medio de la ecuación 3.1 para las velocidades de transmisión de 12.2 Kbps, 64 Kbps, 144 Kbps y 384 Kbps en condiciones de propagación con AWGN.

	Voz (12.2Kbps)	Datos 64Kbps	Datos 144Kbps	Datos 384Kbps
E_c/I_{or} [27]	-16.6dB	-12.8dB	-9.8dB	-5.5dB
I_{or}/I_{oc} [9]	-1	-1	-1	-1
E_b/N_0	7.4dB	3.9dB	3.4dB	3.4dB

Tabla 3.1 Desempeño del canal estático en el DL [9]

Para la mayoría de las pruebas se debe alcanzar una BER de 0.1% (0.001) según lo especifica el 3GPP [27]. Estas pruebas están sujetas a unas características apropiadas del canal de prueba, en este caso el DCH.

En las figuras 3.13, 3.14, 3.15 y 3.16 se muestra la relación E_b/N_0 contra BER obtenida por medio de la simulación para cada velocidad de transmisión. Se puede notar por medio de las figuras que cuando se decremanta la relación E_b/N_0 la BER se incrementa significativamente. En la mayoría de los casos mostrados en las graficas se tiene que para los valores de E_b/N_0 especificados por el 3GPP, en la simulación se obtiene una BER de aproximadamente 1% (0.01), que significa que se obtuvo una BER un orden de magnitud por encima de las especificaciones.

12.2Kbps		64Kbps		144Kbps		384Kbps	
E_b/N_0	BER	E_b/N_0	BER	E_b/N_0	BER	E_b/N_0	BER
3.9797	0.4795	0.7815	0.4199	-0.74	0.467	-1	0.4681
4.4797	0.4693	1.2815	0.3539	-0.24	0.441	-0.5	0.4438
4.9797	0.3719	1.7815	0.2867	0.2597	0.4087	0	0.4135
5.4797	0.2561	2.2815	0.1938	0.7597	0.3642	0.5	0.3769
5.9797	0.1475	2.7815	0.1074	1.2597	0.2979	1	0.307
6.4797	0.0758	3.2815	0.0637	1.7597	0.2031	1.5	0.2104
6.9797	0.0205	3.7815	0.0203	2.2597	0.1224	2	0.1281
7.4	0.0163	3.9	0.0133	2.7597	0.0644	2.5	0.0717
7.4797	0.0164	4.2815	0.0051	3.2597	0.0286	3	0.0321
7.9797	0.0082	4.7815	0.0008	3.4	0.0143	3.4	0.0095
8.4797	0	5.2815	0	3.7597	0.00820	3.5	0.0087
-	-	-	-	4.2597	0.0012	4	0.002
-	-	-	-	4.7597	0.0005	4.5	0.0008
-	-	-	-	5.2597	0.0005	5	0.0001
-	-	-	-	5.7597	0	5.5	0

Tabla 3.2 Valores de la relación E_b/N_0 y BER para las velocidades de transmisión de 12.2Kbps, 64Kbps, 144Kbps y 384Kbps.

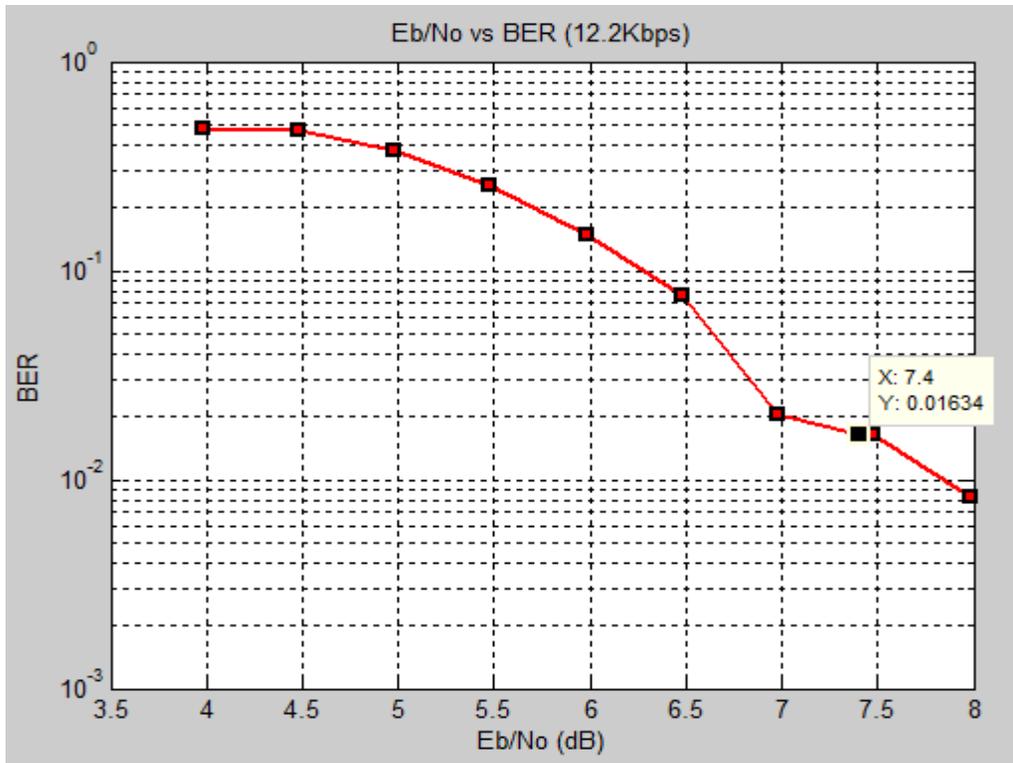


Figura 3.13. E_b/N_0 contra BER para 12.2 Kbps.

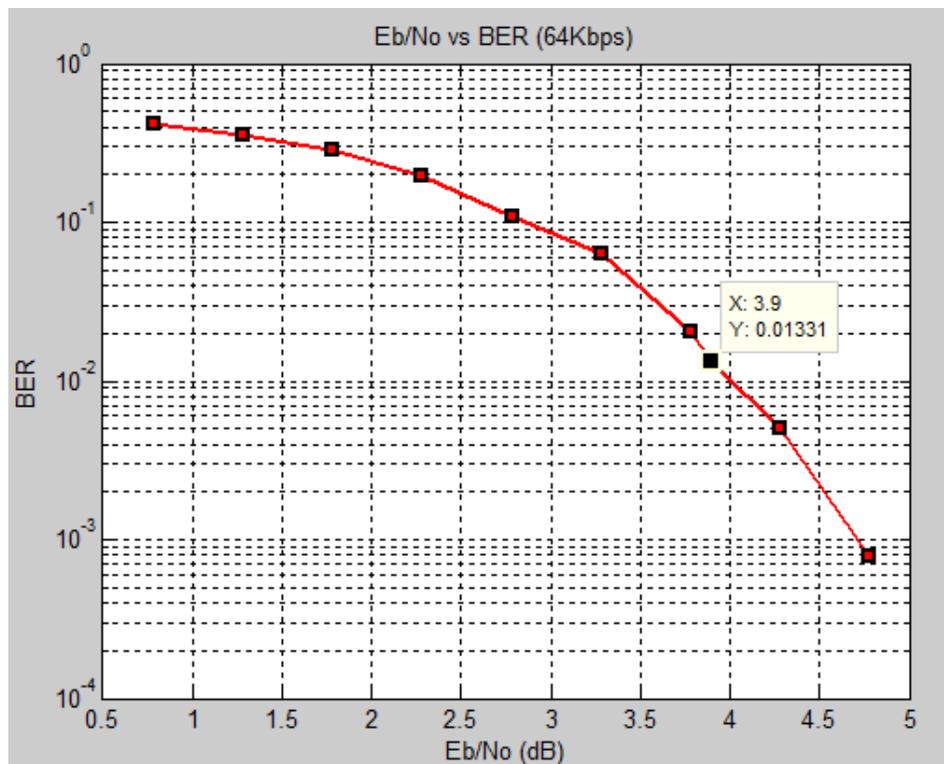


Figura 3.14. E_b/N_0 contra BER para 64 Kbps.

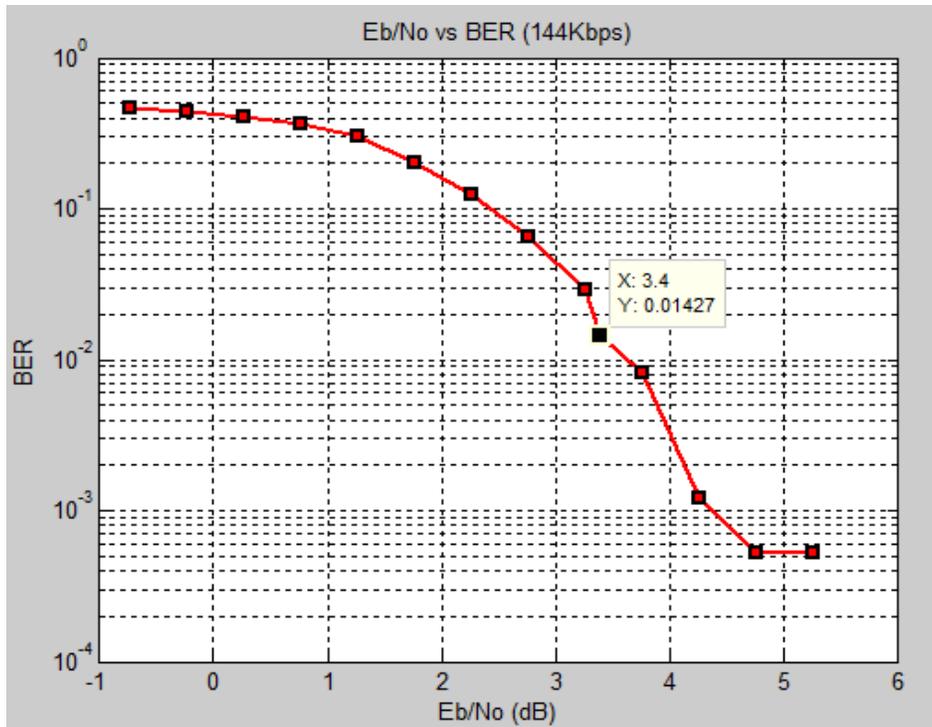


Figura 3.15. E_b/N_0 contra BER para 144 Kbps.

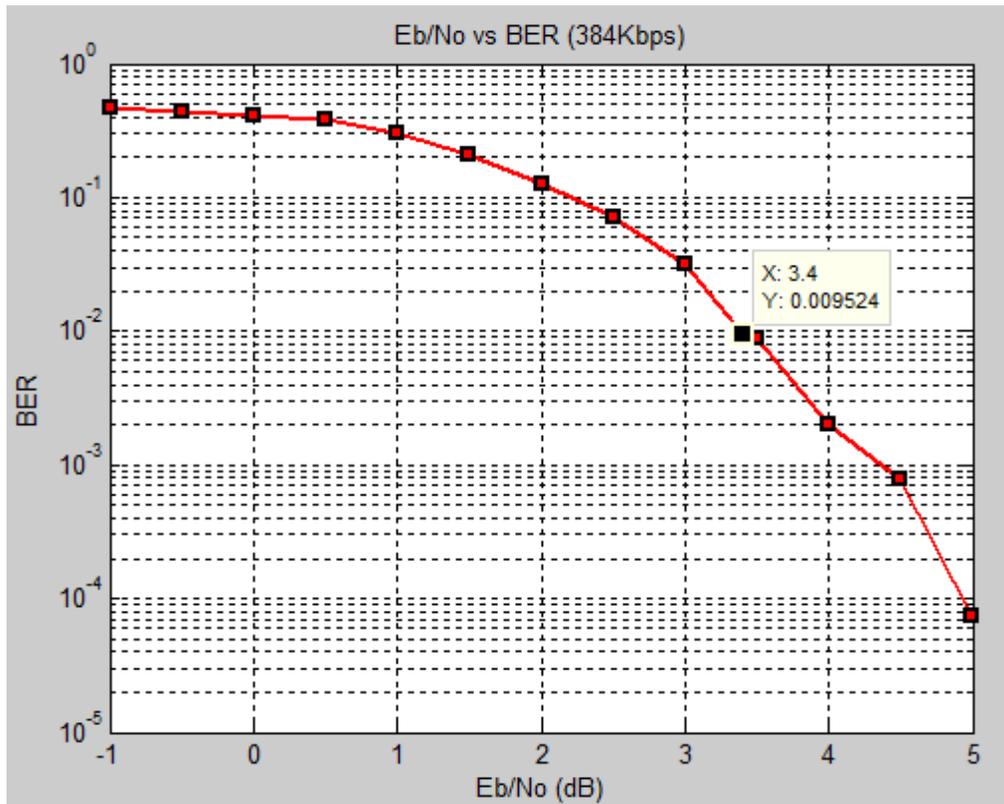


Figura 3.16. E_b/N_0 contra BER para 384 Kbps.

En las figuras 3.13, 3.14, 3.15 y 3.16 y en la tabla 3.2, se muestra que la BER especificada en [27] no se logra en la simulación y que es necesario un valor más alto de E_b/N_0 para alcanzar la BER especificada. En las graficas se puede notar que el mayor valor de E_b/N_0 se requiere para la velocidad de transmisión de 12.2Kbps debido a que la voz tiene un requerimiento de calidad mayor que los datos por el bajo retardo exigido en una conversación en tiempo real (<400ms) y también debido al tráfico simétrico (o casi simétrico) entre el UL y el DL en una conversación persona a persona [9]. En el caso de transmisión de datos (64Kbps, 144Kbps y 384Kbps), la velocidad de transmisión en la que se tiene una BER aproximada al requerimiento (0.001) es 384Kbps, esto se da debido a que la cantidad de bits transmitida en este caso es mucho mayor a los otros casos, lo que contrasta con lo que se ve en la tabla 3.1 en donde los requerimientos teóricos de E_b/N_0 son muy similares para todas las velocidades de transmisión de datos.

3.2.3 Tercer experimento: variación de velocidades de transmisión contra variación de perfiles de desvanecimiento multitrayecto.

La realización de este experimento tuvo como objetivo la obtención de la BLER y la obtención de la BER para las velocidades de transmisión de 12.2kbps, 64kbps, 144kbps y 384kbps, variando los perfiles de desvanecimiento multitrayecto para cada velocidad de transmisión.

3.2.3.1 Variables

- Velocidad de transmisión: 12.2kbps, 64kbps, 144kbps, 384kbps.
- Perfil de desvanecimiento multitrayecto: En la tabla 3.3 se muestran los 6 perfiles de desvanecimiento multitrayecto especificados por [27].

Caso	Velocidad	Numero de trayectos	Perfil de retardo	Perfil de potencia
1	3 km/h	2	0, 976ns	0 dB, -10 dB
2	3 km/h	3	0, 976ns, 20000ns	Todos 0 dB
3	120 km/h	4	0, 260ns, 521ns, 781ns	0 dB, -3 dB, -6 dB, -9 dB
4	3 km/h	2	0, 976ns	Todos 0 dB
5	50 km/h	2	0, 976ns	0 dB, -10 dB
6	250 km/h	4	0, 260ns, 521ns, 781ns	0 dB, -3 dB, -6 dB, -9 dB

Tabla 3.3 Perfiles de desvanecimiento multitrayecto definidos por 3GPP

3.2.3.2 Descripción

Para este experimento en cada una de las velocidades de transmisión se simulo el modelo para los casos 1, 2, 3, 6 de desvanecimiento multitrayecto (se omitieron los casos 4 y 5 debido a que no hay referencia para estos en la especificación [27], pero sí se mostrarán los perfiles multitrayecto) durante un periodo de 0.5seg en la simulación (suficiente para obtener una BLER y BER válidas) y

se obtuvieron los datos de BLER y BER para su análisis. Además de esto se incluyo las pruebas en las que el canal es estático con AWGN y la prueba sin canal como referencia de comparación para cada caso. En la tabla 3.4 se presentan las medidas teóricas de referencia de la relación E_b/N_0 (calculada por medio de la ecuacion 3.1 con $FO=0.5$ y con las relaciones E_c/I_{or} y I_{or}/I_{oc} definidas por el 3GPP en [27]) para el canal DCH para alcanzar una BER de 10^{-3} y una BLER de 10^{-2} , estas medidas de referencia serán utilizadas en este experimento. Adicionalmente se muestran para cada caso el perfil de desvanecimiento multitrayecto por medio de las figuras 3.17, 3.18, 3.19 y 3.20, en donde observa la respuesta al impulso del canal bajo condiciones de multitrayecto y la respuesta del canal limitado en banda (las unidades de magnitud en las figuras 3.17, 3.18, 3.19 y 3.20 están dadas en veces)

Caso	Velocidad de Transmisión (Kbps)	E_b/N_0 (dB)
AWGN Estático	12.2	7.4
AWGN Estático	64	3.9
AWGN Estático	144	3.4
AWGN Estático	384	3.4
Caso 1	12.2	12.01
Caso 1	64	9.81
Caso 1	144	9.49
Caso 1	384	9.83
Caso 2	12.2	13.3
Caso 2	64	11.11
Caso 2	144	9.15
Caso 2	384	8.04
Caso 3	12.2	9.2
Caso 3	64	5.7
Caso 3	144	5.3
Caso 3	384	5.3
Caso 6	12.2	12.2
Caso 6	64	9.41
Caso 6	144	8.75
Caso 6	384	9.14

Tabla 3.4. E_b/N_0 referencia para diferentes condiciones de propagación.

3.2.3.3 Resultados

3.2.3.3.1 Caso sin Canal

Para este caso tanto la BLER como la BER obtenida tienen valor cero como era de esperarse. El obtener un resultado de cero sin canal, demuestra que los procesos de transmisión y recepción se están realizando de una manera adecuada, es decir todos los bits enviados son recibidos sin errores por parte de los elementos simulados (se parte del supuesto de que el sistema en sí no genera errores) y es el caso ideal de comparación y/o control para los casos que se simularon posteriormente.

3.2.3.3.2 Caso AWGN estático

Para el caso de AWGN estático los resultados para cada velocidad de transmisión se consignan en la tabla 3.5.

Velocidad de Transmisión (Kbps)	BLER	BER
12.2	0.4	0.01634
64	0.697	0.01331
144	0.697	0.01427
384	0.8448	0.009524

Tabla 3.5. BLER y BER para caso AWGN estático.

Para este se toman los datos de la relación E_b/N_0 teórica, calculada por medio de la ecuación 3.1 con los datos especificados en [27] y como se ve en la tabla 3.5 no se superan los límites de una BER de 10^{-3} y una BLER de 10^{-2} definidos por esta especificación. Para superar estos se tiene que aumentar la relación E_b/N_0 como se vio en el experimento 2.

3.2.3.3.3 Caso 1

Los datos de BER y BLER obtenidos en la simulación para el caso 1 se muestran en la tabla 3.6

Velocidad de Transmisión (Kbps)	BLER	BER
12.2	0.6857	0.2550
64	0.5758	0.1947
144	0.6061	0.1895
384	0.6034	0.1787

Tabla 3.6 BLER y BER para caso 1.

En la figura 3.17 se muestra el perfil de multitrayecto definido en la tabla 3.3 para el caso 1, en donde se encuentran definidos los trayectos con sus respectivos retardos.

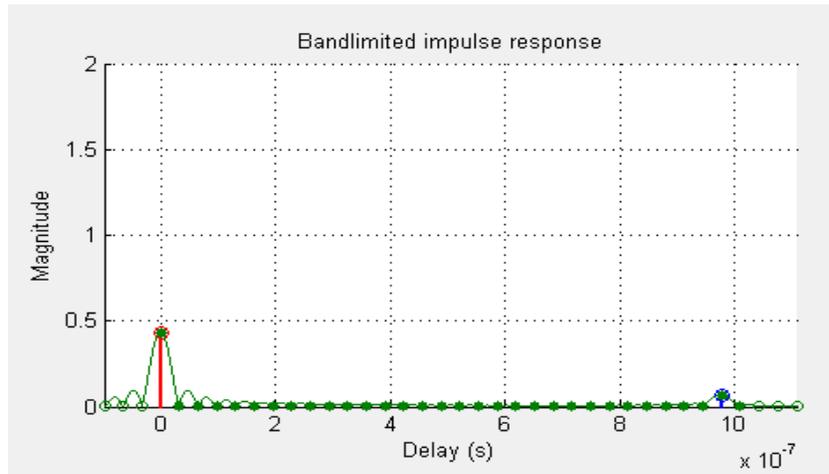


Figura 3.17. Trayectos para el caso 1.

3.2.3.3.4 Caso 2

Los datos de BER y BLER obtenidos en la simulación para el caso 2 se muestran en la tabla 3.7.

Velocidad de Transmisión (Kbps)	BLER	BER
12.2	1	0.5072
64	1	0.4979
144	1	0.4976
384	1	0.4996

Tabla 3.7 BLER y BER para caso 2.

La figura 3.18 muestra el perfil de multitrayecto definido en la tabla 3.3 para el caso 2, en donde se encuentran definidos los trayectos con sus respectivos retardos.

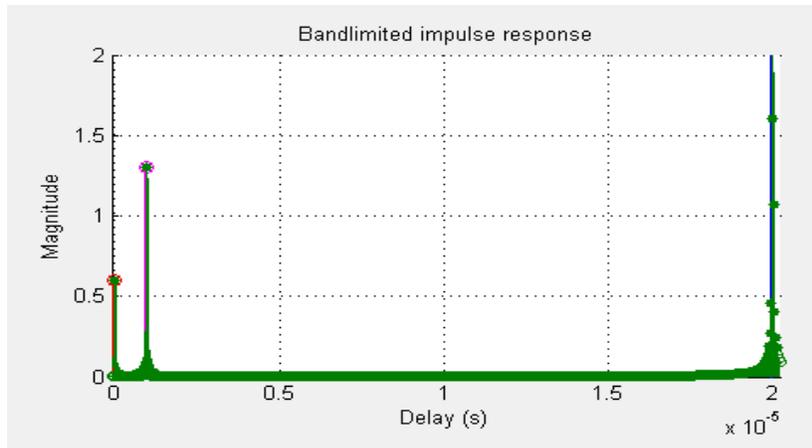


Figura 3.18. Trayectos para el caso 2.

3.2.3.3.5 Caso 3

Los datos de BER y BLER obtenidos en la simulación para el caso 3 se muestran en la tabla 3.8

Velocidad de Transmisión (Kbps)	BLER	BER
12.2	0	0
64	0	0
144	0.155	0.003125
384	0.7069	0.02781

Tabla 3.8 BLER y BER para caso 3.

En la figura 3.19 se muestra el perfil de multitrayecto definido en la tabla 3.3, en donde se encuentran definidos los trayectos con sus respectivos retardos.

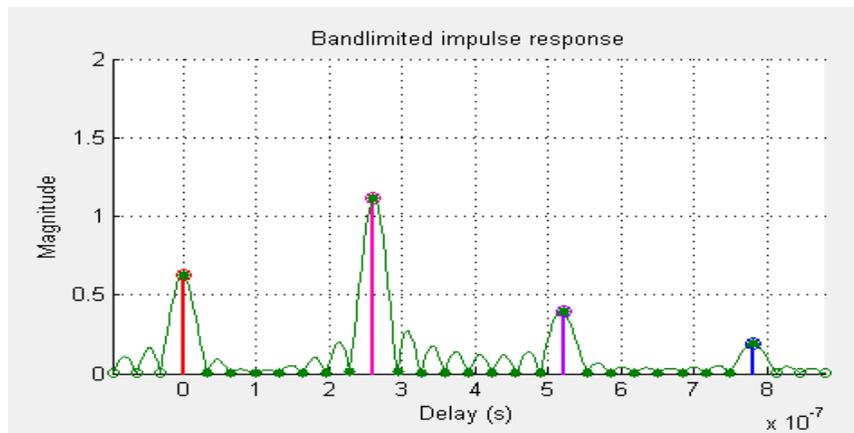


Figura 3.19. Trayectos para el caso 3.

3.2.3.3.6 Caso 6

Los datos de BER y BLER obtenidos en la simulación para el caso 6 se muestran en la tabla 3.9

Velocidad de Transmisión (Kbps)	BLER	BER
12.2	0	0
64	0	0
144	0	0
384	0.8621	0.0000949

Tabla 3.9 BLER y BER para caso 6.

En la figura 3.20 se muestra el perfil de multitrayecto definido en la tabla 3.3, en donde se encuentran definidos los trayectos en sus respectivos retardos.

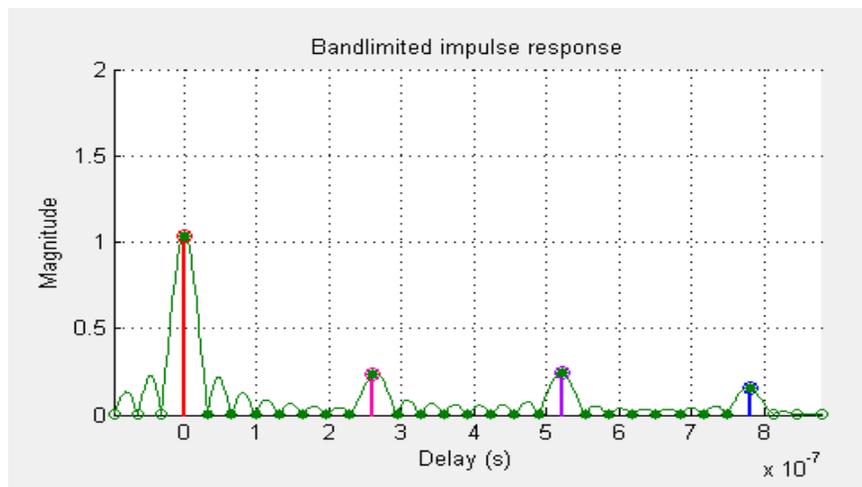


Figura 3.20. Trayectos para el caso 6.

En la figuras 3.17, 3.18, 3.19 y 3.20 se muestran las magnitudes de dos respuestas al impulso del canal de propagación con desvanecimiento multitrayecto, la respuesta al impulso de multitrayecto con un ancho de banda infinito (ideal) es la que se representa en la figura como líneas verticales en cada posición de retardo de las componentes multitrayecto, donde la componente de color rojo es la componente de menor retardo y la componente azul la de mayor retardo, las componentes intermedias se representan por combinaciones de colores entre rojo y azul y se hacen más azules cuando el retardo aumenta. La otra respuesta al impulso que se puede observar es la respuesta del canal limitado en banda (curva de color verde en las figuras) esta es el resultado de realizar la convolución de la respuesta al impulso del canal multitrayecto descrita antes con un pulso sincrónico de periodo T, donde T es el periodo de muestreo de la señal de entrada, para el caso de WCDMA es de 10ms, los círculos verdes (reellenos) representan la respuesta del canal, muestreada a 1/T, las

circunferencias verdes (sin relleno) representan los valores de las muestras no capturadas en la respuesta del filtro del canal que se utiliza para procesar la señal de entrada. Estas figuras comprueban los trayectos de la tabla 3.3, demostrando con esto que la simulación cumple los requerimientos de propagación multitrayecto que se definen en el 3GPP, el canal se comporta de manera similar para cada velocidad de transmisión en cada caso. Se puede observar en la simulación que la magnitud de cada trayecto no es constante en el tiempo, por el contrario varía en ± 0.2 (veces) de lo especificado, por lo que las apreciaciones de BER se asemejan aún más a las condiciones de un canal real.

De los datos obtenidos se puede afirmar que el comportamiento de la BER en las diferentes velocidades de un caso específico (caso 1, 2, 3 ó 6) se mantiene aproximadamente constante en la mayoría de los casos, lo que implica que al seguir los valores teóricos de referencia de E_b/N_0 la velocidad de transmisión no es un factor de incidencia en el comportamiento y/o variación de la BER. En contraposición se observa que la BER tiene un cambio drástico al comparar el caso de propagación estática con AWGN (AWGN estático) en los cuatro casos simulados con desvanecimiento por multitrayectoria, resultado que era de esperarse.

En la simulación los casos 3 y 6 se comportan de una mejor manera que los demás casos, esto es debido a que para estos se definen más trayectos (ver figuras 3.19 y 3.20 y tabla 3.3), los cuales son eficientemente recuperados y combinados en el receptor Rake, lo que al final se traduce en una mejor calidad de la señal.

Se puede observar para los casos 1 y 2, que no se cumplen las condiciones especificadas por el 3GPP de una BER de 10^{-3} , esto se debe a que para la velocidad de 3 Km/h se espera una relación E_b/N_0 mayor que a la velocidad de 120 Km/h (casos 3 y 6) y esto es explicable gracias al concepto de incremento de potencia de transmisión (Transmit Power Rise), que no es más que la relación entre la potencia promedio de transmisión con respecto a la potencia promedio de recepción, donde la atenuación del canal se considera 1 dB [29] [9]. Este incremento de potencia es una consecuencia de la utilización del control rápido de potencia que se describe en [9], el cual no se implementa en el modelo, lo que se representa en los resultados como una relación E_b/N_0 mayor en aproximadamente 1.5 dB [9].

3.2.4 Cuarto experimento: Variación del tipo de modulación aplicado a la señal.

Con este experimento se busca determinar las ventajas y desventajas de la variación del tipo de modulación (QPSK a 16QAM) para así realizar un comparativo de los beneficios a nivel de modulación de HSDPA que utiliza 16QAM con respecto a la tecnología WCDMA que utiliza QPSK.

3.2.4.1 Variables

- Velocidad de transmisión: 12.2kbps, 64kbps, 144kbps, 384kbps.
- Tipo de modulación: QPSK o 16QAM

3.2.4.2 Descripción

El tipo de modulación utilizado por el sistema WCDMA es QPSK por lo que con este experimento se desea determinar las ventajas y desventajas que ofrece otro tipo de modulación como es 16QAM, modificando la entrada de bits de 2 bits en QPSK a 4 bits en 16-QAM. El mapeo de los bits se realizo como se muestra en la tabla 3.10 [23].

$i_1q_1i_2q_2$	Rama I	Rama Q
0000	0.4472	0.4472
0001	0.4472	1.3416
0010	1.3416	0.4472
0011	1.3416	1.3416
0100	0.4472	-0.4472
0101	0.4472	-1.3416
0110	1.3416	-0.4472
0111	1.3416	-1.3416
1000	-0.4472	0.4472
1001	-0.4472	1.3416
1010	-1.3416	0.4472
1011	-1.3416	1.3416
1100	-0.4472	-0.4472
1101	-0.4472	-1.3416
1110	-1.3416	-0.4472
1111	-1.3416	-1.3416

Tabla 3.10. Mapeo de los bits en la modulación 16QAM.

En la tabla 3.10 el termino $i_1q_1i_2q_2$ indica los bits de datos de entrada que van a ser modulados, donde lo i_1 e i_2 son las componentes en fase de la señal y q_1 y q_2 son las componentes en cuadratura.

Para implementar la modulación 16QAM en la simulación se utilizo el bloque “Rectangular QAM Modulator Baseband” de la librería modulación del Communications Blockset. Este bloque modula utilizando una modulación de amplitud en cuadratura con una constelación en un área rectangular. La salida de este bloque es una representación en banda base de la señal modulada. La constelación de la señal tiene M puntos, donde M es el número M-ary que representa el número de puntos que conforman la constelación. En este caso M equivale a 16 debido a que se planea utilizar 16QAM. En el bloque “Data Mapper” descrito en la sección 2.4.1.2 del anexo A, cambian los parámetros “Symbol set size” que cambia a 16, también cambia el parámetro “Mapping vector” que toma los valores de mapeo según lo especifica la figura 3.21. El vector de mapeo obtenido de la tabla 3.10 y de la figura 3.21 es el siguiente: [10 14 11 15 2 6 3 7 8 12 9 13 0 4 1 5]. Para la prueba realizada se utiliza el caso del canal AWGN estático, que según [30] es una de las condiciones de propagación en donde se usa HSDPA con la modulación 16-QAM.

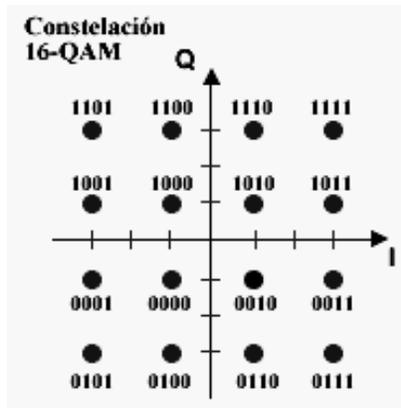


Figura 3.21. Constelación de la modulación 16 QAM.

3.2.4.3 Resultados

Una ventaja de 16QAM que claramente se puede ver con la simulación es que al utilizar este tipo de modulación se logra incrementar la velocidad de transmisión de datos haciendo uso del mismo ancho de banda, en este caso en el enlace de bajada, debido a que se mapean más bits por símbolo (4 bits frente a 2 bits que mapea QPSK). Esta es la principal ventaja de utilizar este tipo de modulación y es una ventaja que se ve en HSDPA cuando existen las mejores condiciones de la señal y del entorno, ya que con este tipo de modulación se logran velocidades de hasta 14.4Mbps a nivel físico.

Al utilizar este tipo de modulación en el sistema WCDMA se obtuvo una BLER del 100% (Relación de error de bloque máxima) con 5 bloques recibidos, y una BER del 51.54% con 976 bits recibidos y 503 bits erróneos, más de la mitad de bits erróneos en recepción. Estos resultados se obtuvieron debido a que al implementar la modulación 16QAM además de realizar una estimación de fase en el receptor como en el caso de QPSK también se debe realizar una estimación de amplitud, procedimiento que en WCDMA no se realiza, pero en HSDPA se implementa. Otro factor a tener en cuenta es que para utilizar 16QAM la calidad de la señal debe ser apreciablemente más alta como es el caso en que el móvil se encuentra muy cerca de la estación base transmisora, además el usuario debe encontrarse estacionario y el entorno no debe tener obstáculos que puedan causar desvanecimiento multitrayectoria. Para compensar la calidad del canal se decide hacer un aumento en la relación E_b/N_0 , y después de algunas pruebas y un aumento considerable, las condiciones en recepción siguen similares. Según [12] la relación E_b/N_0 no es una medida efectiva ni fiable para la evaluación de la BER porque para el canal compartido de alta velocidad (ver [12]), las velocidades de transmisión de bits varía en cada TTI, y esto a su vez es debido a que se utilizan diferentes esquemas de modulación, tasas de codificación efectivas y diferentes códigos para el canal físico que transporta al canal compartido de alta velocidad. En lugar de tomar E_b/N_0 como parámetro se sugiere utilizar la *SINR* (Signal to Interference plus Noise Ratio, Relación Señal a Interferencia más Ruido), que no es posible considerar para este modelo por razones propias de los elementos abstraídos en el proceso de modelado. Debido a lo anterior y a que no se realiza la

estimación de amplitud, aun con muy buenas condiciones del entorno y de la señal no se logra obtener un buen nivel de BLER ni de BER cuando se implementa este tipo de modulación en WCDMA.

En las figuras 3.22, 3.23, 3.24 y 3.25 se puede ver la constelación de la señal obtenida al aplicar la modulación 16QAM en WCDMA. La figura 3.22 muestra la señal que va a ser transmitida por la estación base, mientras que las figuras 3.23, 3.24 y 3.25 muestran la constelación de la señal recibida en diferentes puntos del receptor Rake (Figura 3.23 constelación de la señal después del dedo Rake, figura 3.24 constelación de la señal después del rotador, figura 3.25 constelación de la señal después del combinador). Estas figuras se obtuvieron a una velocidad de transmisión de 384kbps, considerando una transmisión sin desvanecimiento multitrayectoria y sin AWGN. Los datos de BER y BLER para este caso son los expuestos anteriormente. Para velocidades más bajas y sin desvanecimiento multitrayectoria ni AWGN, los datos de BER y BLER son aproximadamente los mismos, los cambios son mínimos. Pero para casos en que se considera AWGN o se considera desvanecimiento multitrayectoria más AWGN la BER empeora aun más llegando hasta un 60.2% para la velocidad de transmisión de 384kbps y de aproximadamente igual porcentaje para las otras velocidades de transmisión. La BLER se mantiene en un 100% para todos los casos. Este error tan grande como se explicó anteriormente se debe a la estimación de amplitud que no se considera en WCDMA y a las condiciones de la señal y del entorno en el caso en que se considere el desvanecimiento multitrayecto y AWGN.

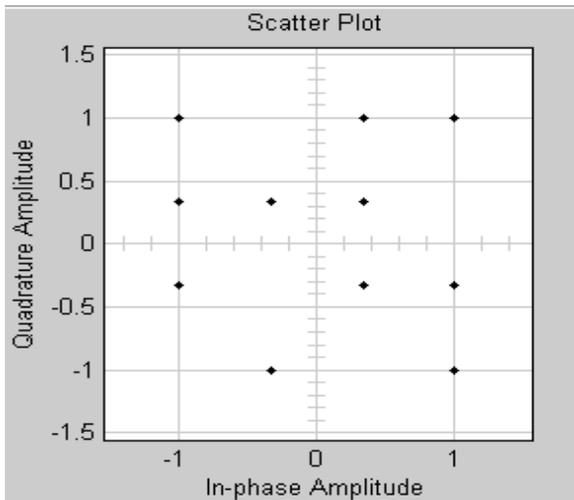


Figura 3.22. Constelación de la señal a transmitir.

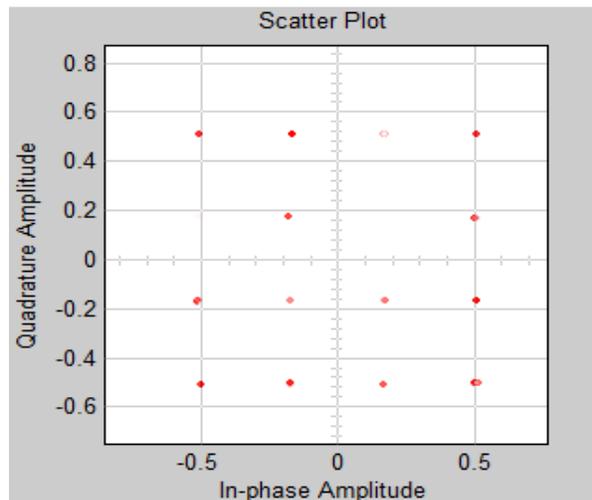


Figura 3.23 Constelación de la señal recibida después del dedo Rake.

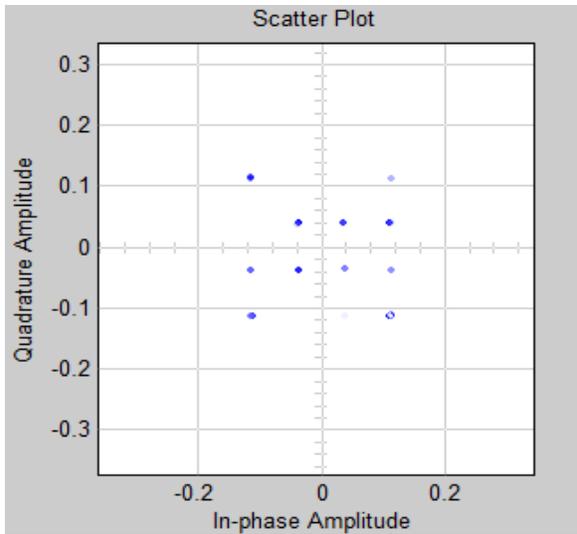


Figura 3.24 Constelación de la señal después del rotador.

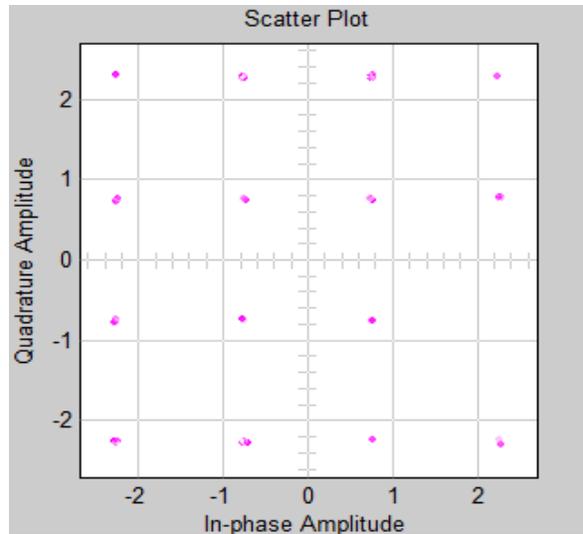


Figura 3.25 Constelación de la señal a la salida del combinador (Después del combinador).

3.2.5 Quinto Experimento: Codificación Turbo.

WCDMA release 99 establece que el sistema puede utilizar tanto codificación convolucional como codificación turbo, por otro lado en HSDPA (release 5) se hace indispensable la utilización de codificación turbo para aumentar la velocidad en el enlace de bajada [19] [31]. Con este experimento se busco realizar una comparación entre la codificación convolucional y codificación turbo, para determinar las ventajas y/o desventajas que puedan tener entre sí.

3.2.5.1 Variables

- Tipo de codificación: Convolucional o Turbo.
- Tamaño del bloque de código: 40, 100, 500, 1000 y 5000 bits.

3.2.5.2 Descripción

La descripción del codificador convolucional se puede apreciar en la sección 1.2.6.1.4 del capítulo 1, la codificación Turbo se describe en la misma sección.

El codificador turbo se implementa utilizando dos bloques “Convolutional Encoder” de la librería detección y corrección de errores del Communication Blockset, este bloque se describe en la sección 2.2.3.2 del anexo B, para este caso el parámetro “trellis structure” (estructura trellis) toma el valor de la variable T que contiene la estructura trellis generada por la función *poly2trellis(4, [13 15])*, donde 4 especifica la longitud restringida y [13 15] representa la matriz polinomial generadora (ver sección 1.2.6.1.4 del capítulo 1). Para la implementación del codificador turbo también se utilizan dos bloques “Deinterlacer” de la librería operaciones de secuencia del Communication Blockset el cual se describe en la sección 2.4.2.1.2 del anexo B, un bloque “Terminator” de la librería

visualizadores del Simulink Blockset descrito en la sección 4.2.1.1 del anexo B, un bloque “Matrix Concatenation” de la librería operaciones matemáticas del Simulink Blockset el cual se describe en la sección 2.2.6.1 del anexo B, en este bloque el parámetro “Number of inputs” (número de entradas) toma el valor de 3, además se utiliza un bloque “Unipolar to Bipolar Converter” de la librería bloques de utilidades del Communication Blockset el cual se describe en la sección 2.4.2.1.4 del anexo B, un bloque “Random interleaver” de la librería intercalamiento del Communication Blockset que reordena los símbolos de entrada por medio de una permutación aleatoria. En este bloque el parámetro “number of elements” (número de elementos) indica cuantos elementos hay en el vector de entrada, en este caso este parámetro toma el valor del número de bits del canal de transporte, y por último se utiliza un bloque “matrix interleaver” de la librería intercalamiento del Communication Blockset que realiza un intercalamiento de bloque relleno una matriz con los símbolos de entrada fila por fila y enviando el contenido de la matriz al puerto de salida columna por columna. En este bloque los parámetros “number of rows” (número de filas) y “number of columns” (numero de columnas) son las dimensiones de la matriz que utiliza el bloque internamente, para este caso el parámetro numero de filas toma el valor de 3, y el número de columnas toma el valor del numero de bits del canal de transporte.

Para la realización de la prueba se vario la relación E_b/N_0 para obtener la BER en los siguientes casos: código convolucional con longitud restringida $k = 9$, y código turbo con tamaño del bloque de código de 40, 100, 500, 1000 y 5000 bits. La información recolectada se graficó para su interpretación. Para la simulación se utilizó un canal AWGN estático y un tiempo de simulación de 0.5 segundos.

3.2.5.3 Resultados

En la figura 3.26 se muestra el resultado de simular el modelo para codificación convolucional y codificación turbo como se indico en la sección anterior.

A primera vista se observa en la figura 3.26 que el desempeño del sistema se incrementa al utilizar la codificación Turbo con un tamaño de bloque de código más grande, es decir, a mayores velocidades de transmisión tiene un comportamiento mejor la codificación turbo. Por el contrario para tamaños de bloques de código pequeños, la codificación convolucional es más efectiva que la codificación turbo, y a medida que crece el tamaño del bloque de código mejora el desempeño de la codificación turbo.

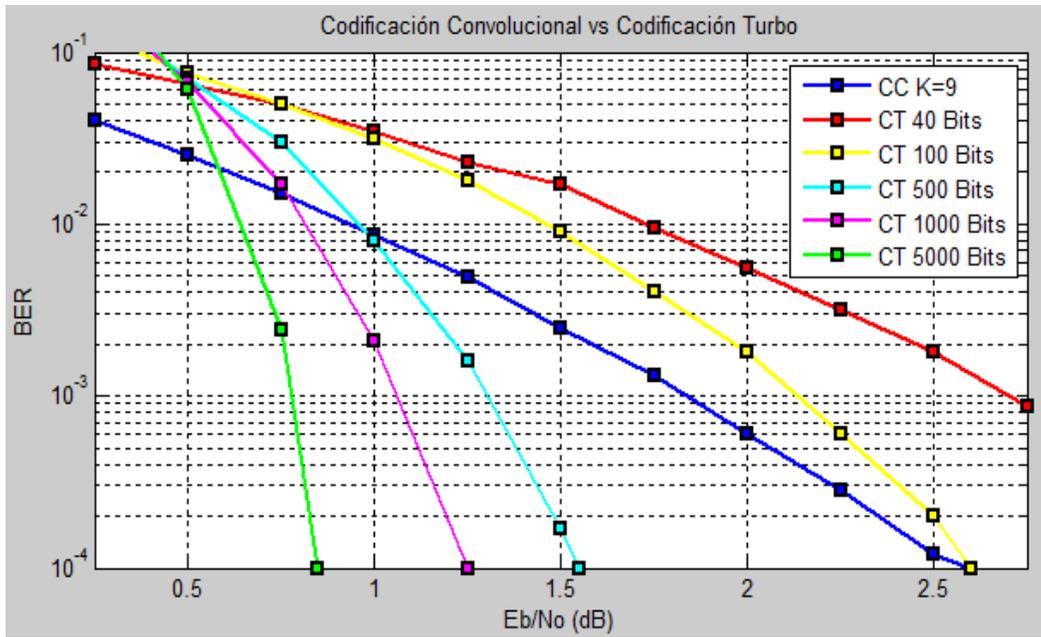


Figura 3.26. Codificación Convencional vs codificación Turbo.

De la figura 3.26 se tiene que para un tamaño de bloque de código de 100 bits, la codificación convolucional y la turbo se comportan de manera similar con una BER de 10^{-4} mientras que para un tamaño de código de 500 bits la codificación turbo presenta una mejora de aproximadamente 1dB frente a la convolucional, y para tamaños de bloque mayores la codificación turbo incrementa considerablemente el desempeño sobre la codificación convolucional. Es importante notar que el efecto de la utilización de cada codificación se hace visible cuando se varía en unos pocos dB la relación E_b/N_0 .

CAPITULO 4

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES

- Por medio de la simulación se comprobó como WCDMA utiliza la técnica DSSS al observar la señal antes y después del ensanchamiento en el dominio del tiempo en donde se muestra el paso de velocidad de bit a velocidad de chip, y en el dominio de la frecuencia en donde se muestra los cambios en el ancho de banda que la señal experimenta.
- El proceso de modulación que implementa WCDMA se demuestra en la simulación por medio de las constelaciones en las que se verifica que la modulación utilizada es QPSK, además en dominio del tiempo se observó que el mapeo de los bits se realiza de acuerdo a la modulación especificada por el 3GPP.
- Analizando el espectro y las constelaciones de la señal tanto en transmisión como en recepción se verifico el efecto del ruido que introduce el canal sobre la señal recibida. En el dominio de la frecuencia se observó una disminución relativa con respecto al ruido de la potencia de la señal dentro de la banda transmitida, en los diagramas de constelaciones se dispersan los puntos de la señal recibida afectando la capacidad de decisión del receptor. Al variar la relación E_b/N_0 se notó un mejoramiento (E_b/N_0 alta) ó un deterioro (E_b/N_0 bajo) de la señal recibida.
- De los resultados obtenidos se puede afirmar, que bajo condiciones de propagación con desvanecimiento por multitrayectoria los casos que presentan un mejor desempeño en el sistema son el caso 3 y el caso 6, en donde la relación E_b/N_0 que especifica el 3GPP da como resultado una BLER y BER cercana a 10^{-2} y 10^{-3} respectivamente (valores definidos por el 3GPP), debido a que estos casos aprovechan de una mejor manera las características del receptor Rake implementando más dedos en la recepción.
- De las comparaciones realizadas entre el comportamiento de la BER especificada y los resultados de simulación al variar la relación E_b/N_0 en condiciones de propagación con AWGN estático, se obtiene que el valor de E_b/N_0 que mas se asemeja al especificado por el 3GPP se encuentra a la velocidad de transmisión de 384 Kbps, esta situación se presenta incluso al compararla con los resultados obtenidos para velocidades inferiores para las que se definen valores similares de la relación E_b/N_0 al de esta velocidad (menos de 0.4 dB de diferencia).

- Con respecto a las mejoras que incluye HSDPA se pueden concluir dos puntos interesantes: El primero es que al incluir la modulación 16QAM se aumenta la velocidad de transmisión ya que el número de bits mapeados por símbolos es mayor por lo que se necesitan condiciones de propagación muy buenas para el buen funcionamiento de esta, estas condiciones se logran en celdas pequeñas ó cuando el UE está cerca de la BS, además se determinó que la implementación directa de la modulación sobre el sistema WCDMA se hace difícil en cuanto a que hay elementos extra que deben ser considerados. El segundo punto es que al evaluar y comparar la codificación Turbo con respecto a la codificación convolucional se determina que para un aumento de la velocidad de transmisión la codificación Turbo tiene una mayor eficiencia, mientras que para bajas velocidades de transferencia de datos es preferible utilizar la codificación convolucional.
- 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.
- La aplicación y adaptación de una metodología de simulación debe realizarse a partir de un punto de abstracción alto, el cual permite conocer el sistema en su forma general. A medida que se tiene un conocimiento más amplio del sistema se hace necesario la disminución del nivel de abstracción hasta conocer todos los detalles de implementación de cada subsistema. La metodología aplicada y adaptada permitió obtener un modelo que representa de manera adecuada el sistema de estudio.
- La simulación es una herramienta ideal para el estudio, análisis y comprensión del funcionamiento interno de sistemas complejos de telecomunicaciones como es el caso de WCDMA, como una alternativa ante la imposibilidad de construirlos o adquirirlos. Permite además la realización de estudios, pruebas y análisis con flexibilidad en el manejo del tiempo, sin que sea necesario interrumpir el funcionamiento del sistema real ni consumir sus recursos.
- Para la simulación de WCDMA, Matlab® y su herramienta Simulink constituyen una herramienta poderosa que permite analizar las características abstraídas del sistema. Esto gracias a una amplia gama de funcionalidades, librerías y conjuntos de bloques (Blocksets) que esta herramienta proporciona.
- La simulación de diferentes condiciones del canal permiten conocer el desempeño del sistema a nivel físico y las variaciones que este debe tener para cumplir los requerimientos mínimos especificados por el 3GPP.

- El estudiar WCDMA necesariamente requiere el análisis de la técnica DSSS y de los esquemas de codificación y modulación especificados, este análisis permite obtener conocimientos que se llevan a la práctica al modelar y simular el sistema.
- Los sistemas celulares de 3.5G mejoran ostensiblemente la velocidad de transmisión de datos y los servicios ofrecidos por los sistemas 3G llegando a velocidades de transmisión de hasta 14Mbps en las mejores condiciones del entorno y ofreciendo servicios que van desde la voz hasta servicios multimedia con una demanda de ancho de banda bastante elevada.

4.2 RECOMENDACIONES

- El modelo desarrollado en este proyecto se diseño de tal manera que pueda ser utilizado como base para probar algunos algoritmos como el control de potencia, la detección multiusuario, la diversidad de transmisión en el espacio y en el tiempo, entre otros, los cuales no se consideraron para el presente estudio.
- Los sistemas de 3G y de 3.5G están siendo implementados en Colombia, por lo que se hace necesario adelantar estudios relacionados que permitan un mayor conocimiento de este tipo de tecnología. Se considera que la simulación es la herramienta mas idónea a nivel académico para los primeros acercamientos a tecnologías de este tipo.
- Es necesario complementar el conocimiento de la tecnología WCDMA por medio de estudios dirigidos hacia el análisis y la comprensión de niveles diferentes al físico, que permitan realizar medidas adicionales al sistema como es el caso del volumen de tráfico.
- Mejorar las bases teóricas y/o prácticas en los temas relacionados con la simulación de sistemas de telecomunicaciones y procesamiento de señales recibidas por el estudiante de Ingeniería Electrónica y telecomunicaciones en asignaturas como teoría de telecomunicaciones I y II, sistemas de telecomunicaciones y otras afines, con el objetivo de obtener conocimiento sobre tecnologías actuales a las que no se tiene acceso, pero que el egresado debe manejar. Además se hace necesario incluir el estudio de sistemas de 3G y superiores en la asignatura Comunicaciones móviles perteneciente al énfasis de telecomunicaciones.
- Explorar otras herramientas de simulación como Visual System Simulator (VSS) de la empresa AWR que incluye librerías de sistemas de telecomunicaciones de 3G, u otra herramienta similar que brinde la posibilidad de implementar el modelo desarrollado en el presente proyecto.

REFERENCIAS

- [1] Henning Schulzrinne, "Long-Term Traffic Statistic," 2007. Disponible en: <http://www.cs.columbia.edu/~hgs/internet/traffic.html>.
- [2] Keiji Tachikawa, "WCDMA Mobile communications System," West Sussex, Inglaterra: Jhon Wiley & Sons, 2002.
- [3] M.R.Karim, Mohsen Sarraf, "W-CDMA and cdma2000 for 3G Mobile Networks," Estados Unidos: McGraw-Hill, 2002.
- [4] International Telecommunication Union (ITU) Recommendation ITU-R M.1034-1, "International Mobile Telecommunication - 2000 (IMT-2000)," 1997.
- [5] International Telecommunication Union (ITU) Recommendation ITU-R M.687-2, "International Mobile Telecommunication-2000 (IMT-2000)," 1997.
- [6] International Telecommunication Union (ITU) Recommendation ITU-R M.816-1, "Framework for Services Supported on International Mobile Telecommunication - 2000 (IMT-2000)," 1997.
- [7] Timo Halonen, Javier Romero, Juan Melero, "GSM, GPRS, and EDGE Performance Evolution Towards 3G/UMTS," Segunda Edición, West Sussex, Inglaterra: John Wiley & Sons, 2003.
- [8] Raymond Steel, Chin-Chun Lee, Peter Gould, "GSM , CdmaOne and 3G Systems, " West Sussex, Inglaterra: John Wiley & Sons Ltd, 2001.
- [9] Harri Holma, Antti Toskala, "WCDMA for UMTS, Radio Access for Third Generation Mobile communications," West Sussex, Inglaterra: John Wiley & Sons Ltd, 2004.
- [10] Third Generation Partnership Proyect (3GPP), "3GPP Specifications-Releases(and phases and stages)," 2006. Disponible en:<http://www.3gpp.org/specs/releases.htm>
- [11] TelecomSpace, "High Speed Downlink Packet Access (HSDPA)," 2006. Disponible en: <http://www.telecomspace.com/latesttrends-hsdpa.html>.
- [12] Harri Holma, Antti Toskala, "HSDPA/HSUPA FOR UMTS, High Speed Radio Access for Mobile Communications," West Sussex, England: John Wiley & Sons Ltd, 2006.
- [13] consumers.es EROSKI,"Las Operadoras Móviles Preparan Lanzamiento de la Banda Ancha HSPA," 2007.Disponible en: <http://www.3gpp.org/specs/releases.htm>

- [14] Fried Helm Fink, "hsupa.com High Speed Uplink Packet Access," 2006. Disponible en: <http://www.hsupa.com/>
- [15] 3GPP Technical Specification 25.401 (Release 99), "UTRAN Overall description," 2000.
- [16] Kaaranen H., "UMTS Networks: Architecture, Mobility and Services," West Sussex, Inglaterra: John Wiley & Sons Ltd, 2001.
- [17] 3GPP Technical Specification 25.201 (Release 99), "Physical Layer-General Description," 2000.
- [18] 3GPP Technical Specification 25.211 (Release 99), "Physical channels and mapping of transport channels onto physical channels (FDD)," 2000.
- [19] 3GPP Technical Specification 25.212 (Release 99), "Multiplexing and channel coding (FDD)," 2000.
- [20] Rudolf Tanner, Jason Woodard, "WCDMA Requirments and Practical Design," West Sussex, Inglaterra: John Wiley & Sons Ltd, 2004.
- [21] 3GPP Technical Specification 25.213 (Release 99), "Spreading and Moduation (FDD)," 2000.
- [22] José Maria Hernando Rábanos, "Comunicaciones Móviles," Segunda Edición Madrid, España: Editorial Centro de Estudios Ramón Areces, S.A, 2004.
- [23] 3GPP Technical Specification 25.213 (Release 5), "Spreading and Modulation (FDD)," 2001.
- [24] Muñoz R.Carlos L, Muñoz M. José R., "Metodología para la Simulación de Equipos de Telecomunicaciones," Popayán Cauca, Colombia: Universidad del Cauca, 1995.
- [25] The Mathworks Inc, "Simulink® Simulation and Model-Based Design," 2007. Disponible en: <http://www.mathworks.com/products/simulink/>.
- [26] 3GPP Technical Specification 25.104 (Release 99), "Base Station (BS) radio transmission and reception (FDD)," 2000.
- [27] 3GPP Technical Specification 25.101 (Release 99), "User Equipment (UE) radio transmission and recepcion (FDD)," 2000.
- [28] Proakis J.G., "Digital Communications, " Tercera Edición, New York, Estados Unidos: McGraw Hill, 1993.

- [29] Popovic B.M., "General Formula for Transmit Power Rise in CDMA Systems with Fast Power Control," Communications, IEEE Transactions on, 53 ed 2007, pp. 1248-1251.
- [30] 3GPP Technical Specification 25.101 (Release 5), "User Equipment (UE) radio transmission and reception (FDD)," 2001.
- [31] 3GPP Technical Specification 25.212 (Release 5), "Multiplexing and channel coding (FDD)," 2001.