

EVALUACIÓN Y ANÁLISIS DEL DESEMPEÑO DE LA TECNOLOGÍA HSDPA



Trabajo de Grado para optar al Título de Ingeniero en Electrónica y
Telecomunicaciones

**Edisson Fernel Realpe Ibarra
Henry Junior Ruiz Nieves**

Director: Víctor Manuel Quintero Flórez

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA
Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones
Departamento de Telecomunicaciones
Grupo de Radio e InALámbricas – GRIAL
Línea de investigación en Señales y Sistemas de Acceso y
Difusión Basados en Radio
Popayán, 2011**

EVALUACIÓN Y ANÁLISIS DEL DESEMPEÑO DE LA TECNOLOGÍA HSDPA

**Edisson Fernel Realpe Ibarra
Henry Junior Ruiz Nieves**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA
Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones
Departamento de Telecomunicaciones
Grupo de Radio e InALámbricas – GRIAL
Línea de investigación en Señales y Sistemas de Acceso y
Difusión Basados en Radio
Popayán, 2011**

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1 CONCEPTOS GENERALES DE HSDPA.....	2
1.1 Características Generales	2
1.2 Estructura Del Protocolo	4
1.3 Estructura Del Nivel Físico.....	6
1.3.1 Funcionalidades Relacionadas Con El HS-DSCH.....	7
1.3.2 Funcionalidades Relacionadas Con El HS-SCCH.....	9
1.3.3 Funcionalidades Relacionadas Con El HS-DPCCH	10
1.4 MAC y Funcionalidad MAC-hs	10
1.5 Codificación Y Modulación Adaptativa.....	14
1.6 HARQ	16
1.7 Planificación Rápida De Paquetes	19
CAPÍTULO 2 RED DE ACCESO RADIO HSDPA	21
2.1 Impacto De HSDPA Sobre La Arquitectura De La Red De Acceso Radio Terrestre UMTS (UTRAN)	21
2.2 Procedimiento HSDPA En El Nivel Físico.....	24
2.2.1 Secuencia De Operación En El Nivel Físico De HSDPA Durante Una Comunicación	24
2.3 Parámetros De Los UE – HSDPA.....	26
2.3.1 Categorías Y Características De Los UE's.....	26
2.3.2 Velocidades Teóricas De Transmisión De Datos	27
CAPÍTULO 3 MODELO DE SIMULACIÓN A NIVEL DE ENLACE	30
3.1 Subsistema Transmisor	30
3.1.1 Fuente HARQ (<i>HARQ SOURCE</i>)	31
3.1.2 Codificador HS-DSCH (<i>HS-DSCH ENCODER</i>).....	33
3.1.3 Transmisor HS-DSCH (<i>HS-DSCH TX</i>)	35
3.1.4 Generador De Versión De Redundancia Para HSDPA (<i>HSDPA RV GEN</i>).....	36
3.1.5 Generador De Canales Comunes En DL Para HSDPA (<i>HSDPA CHANNEL GENERATOR</i>).....	37
3.1.6 Aleatorizador HSDPA (<i>HSDPA SCRAMBLER</i>).....	39
3.1.7 Transmisor HS-SCCH (<i>HS-SCCH TX</i>).....	40
3.1.8 Mapeo CQI HS-SCCH (<i>HS-SCCH CQI MAP</i>).....	41
3.1.9 RETARDO COMPLEJO (<i>BULK DELAY COMPLEX</i>)	43
3.1.10 RETARDO UNITARIO (<i>BULK DELAY</i>).....	44
3.2 Canal.....	45
3.2.1 Canal 3GPP (<i>3GPP CHANNEL</i>).....	46
3.2.2 Ruido Blanco Complejo (<i>COMPLEX WHITE NOISE</i>)	47
3.2.3 Combinador (<i>ADD</i>).....	47
3.3 Receptor	48
3.3.1 Receptor Tipo <i>Rake</i> Ideal (<i>IDEAL Rake RCVR</i>).....	49

3.3.2 Receptor HS-DSCH (<i>HS-DSCH RX</i>)	50
3.3.3 Decodificador HS-DSCH (<i>HS-DSCH DECODER</i>)	52
3.3.4 Verificador CRC HS-DSCH (<i>HS-DSCH CRC CHECK</i>)	53
3.3.5. Retardo De Unidad (<i>BULK DELAY</i>)	54
3.3.6 Calculador BER/BLER (<i>BER/BLER</i>)	55
3.3.7 Generador ACK/NACK (<i>ACK GEN</i>)	57
3.3.8. Retardo De Unidad (<i>BULK DELAY</i>)	58
3.3.9 Estimación Del CQI (<i>CQI ESTIMATION</i>).....	58
3.3.10 Reporte DE CQI (<i>CQI REPORT</i>)	60
3.3.11 Despliegue Del CQI (<i>CQI DISPLAY</i>)	61
3.3.12 Receptor HS-SCCH (<i>HS-SCCH RX</i>)	62
CAPÍTULO 4 ANÁLISIS DE RESULTADOS	64
4.1 Evaluación Y Análisis Con FRC	64
4.1.1. Experimento 1	66
4.1.2 Experimento 2.	67
4.1.3 Experimento 3.	70
4.1.4 Experimento 4	71
4.2. Evaluación Y Análisis De HSDPA En FRC, Con Base En Los Diferente Modelos De Canal De La ITU Y Recomendados Por 3GPP.....	72
4.2.1 Experimento 1	73
4.2.2 Experimento 2	77
4.2.3 Experimento 3	79
4.3 EVALUACIÓN Y ANÁLISIS DE VRC.....	80
4.3.1 Experimento 1	82
4.3.2 Experimento 2	83
4.3.3 Experimento 3	87
4.4. Evaluación Y Análisis De HSDPA En VRC, Con Base En Los Diferente Modelos De Canal De La ITU Y Recomendados Por 3GPP.....	89
4.4.1 Experimento 1	89
4.4.2 Experimento 2	93
4.4.3 Experimento 3	95
CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y APORTES	97
REFERENCIAS	A

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. 1. Transmisión a dos usuarios con diferente comportamiento del canal	3
Figura 1. 2. Arquitectura de la red HSDPA	5
Figura 1. 3. Arquitectura de protocolos de la interfaz radio de HSDPA.....	5
Figura 1. 4. Cadena de codificación y multiplexación a nivel físico del canal HS-DSCH.	6
Figura 1. 5. Diagrama de constelaciones.....	7
Figura 1. 6. Proceso de ensanchamiento y desensanchamiento de la señal de datos.	8
Figura 1. 7. Estructura de la subtrama HS-SCCH.....	9
Figura 1. 8. Diagrama del HS-DPCCH.....	10
Figura 1. 9. Diagrama del HS-DPCCH.....	10
Figura 1. 10. Arquitectura del subnivel MAC del lado UTRAN con HSDPA.	11
Figura 1. 11. Arquitectura del subnivel MAC del lado UE con HSDPA.	11
Figura 1. 12. Estructura MAC-hs del lado UTRAN.....	12
Figura 1. 13. Estructura MAC-hs del lado UE.....	13
Figura 1. 14. Esquema de retransmisión en los procesos HARQ.	17
Figura 1. 15. Bloques funcionales de HARQ.	19
Figura 1. 16. Esquema de flujo de datos manejado por el planificador.	20
Figura 2. 1. Red UTRAN con el OMC.	22
Figura 2. 2. Procesamiento lógico de la información en el Nodo B.....	22
Figura 2. 3. Procesamiento lógico de la información en el UE.....	23
Figura 2. 4. Diferencias en el manejo de retransmisiones en la R99 y R5.....	23
Figura 2. 5. Secuencia de transmisión de los principales canales para HSDPA.....	25
Figura 2. 6. Canales para transmisión de datos de usuario y control en una comunicación HSDPA.	26
Figura 3. 1. Modelo de Simulación del subsistema transmisor.....	31
Figura 3. 2. Bloque: Fuente HARQ.	32
Figura 3. 3. Bloque: Codificador HS-DSCH.....	33
Figura 3. 4. Bloque: Transmisor HS-DSCH.	35
Figura 3. 5. Bloque: Generador de versión de redundancia.....	36
Figura 3. 6. Bloque: Generador de canales comunes en DL para HSDPA.	37
Figura 3. 7. Bloque: Aleatorizador HSDPA.....	39
Figura 3. 8. Bloque: Transmisor HS-SCCH.....	40

Figura 3. 9. Bloque: mapeo del CQI.	42
Figura 3. 10. Bloque: Retardo de señal compleja.	44
Figura 3. 11. Bloque: Retardo unitario.....	44
Figura 3. 12. Modelo de Simulación del subsistema canal.	45
Figura 3. 13. Bloque: Canal 3GPP.....	46
Figura 3. 14. Bloque: Canal de ruido blanco gaussiano complejo.	47
Figura 3. 15. Bloque: combiandor de señales.....	47
Figura 3. 16. Modelo de Simulación del subsistema receptor.	49
Figura 3. 17. Bloque: Receptor Rake.....	49
Figura 3. 18. Bloque: Receptor HS-DSCH.....	51
Figura 3. 19. Bloque: Decodificador HS-DSCH.	52
Figura 3. 20. Bloque: Verificación CRC HS-DSCH.....	54
Figura 3. 21. Bloque: Retardo de unidad.....	55
Figura 3. 22. Bloque BER/BLER.	55
Figura 3. 23. Bloque: Generador de ACK/NACK.	57
Figura 3. 24. Bloque: Retardo de muestra.	58
Figura 3. 25. Bloque: estimador del CQI.....	59
Figura 3. 26. Tabla archivo de búsqueda CPICH - CQI.....	59
Figura 3. 27. Bloque: Reporte del CQI.....	60
Figura 3. 28. Bloque: despliegue del CQI.....	61
Figura 3. 29. Bloque: receptor HS-SCCH.....	62
Figura 4. 1. Desempeño del <i>throughput</i> para los UE categorías 1, 3 y 5 en función del SNR.	67
Figura 4. 2. Desempeño del BER en función del HS-DSCH E_c/I_0 para las categorías 1 y 5.	69
Figura 4. 3. Desempeño del BLER en función del HS-DSCH E_c/I_0 para las categorías 1 y 5.....	69
Figura 4. 4. Comportamiento del <i>throughput</i> en función del HS-DSCH E_c/I_0 para UE categoría 1 y 5.....	70
Figura 4. 5. Comportamiento del <i>throughput</i> en función del SNR para las técnicas CC (categoría 5) e IR (categoría 6) de HARQ.....	71
Figura 4. 6. Desempeño del <i>throughput</i> en función del número de procesos HARQ para UE categoría 1 y 5.	72
Figura 4. 7. Desempeño del <i>throughput</i> en función del HS-DSCH E_c/I_0 para los diferentes modelos de canal.....	75
Figura 4. 8. Desempeño del BER en función del HS-DSCH E_c/I_0 para los diferentes modelos de canal.	76
Figura 4. 9. Desempeño del BLER en función del HS-DSCH E_c/I_0 para los diferentes modelos de canal.....	76

Figura 4. 10. Parte superior ventana de transmisión HARQ e inferior retransmisiones para el modelo de canal PA3. ..	77
Figura 4. 11. Parte superior ventana de transmisión HARQ e inferior retransmisiones para el modelo de canal PB3. ..	78
Figura 4. 12. Parte superior ventana de transmisión HARQ e inferior retransmisiones para el modelo de canal VA30.	78
Figura 4. 13. Parte superior ventana de transmisión HARQ e inferior retransmisiones para el modelo de canal VA120.	78
Figura 4. 14. Desempeño del <i>throughput</i> para los diferentes modelos de canal de la ITU y recomendados por 3GPP. .	80
Figura 4. 15. Diagramas estadísticos del comportamiento del CQI para las categorías 1, 3 y 5.	83
Figura 4. 16. Desempeño del CQI y cambios en los parámetros de formato de transporte para SNR de 0 dB.	84
Figura 4. 17. Desempeño del CQI y cambios en los parámetros de formato de transporte para SNR de 5 dB.	84
Figura 4. 18. Desempeño del CQI y cambios en los parámetros de formato de transporte para SNR de 10 dB.	85
Figura 4. 19. Desempeño del CQI y cambios en los parámetros de formato de transporte para SNR de 15 dB.	85
Figura 4. 20. Desempeño del CQI y cambios en los parámetros de formato de transporte para SNR de 20 dB.	86
Figura 4. 21. Desempeño del BER en función del HS-DSCH Ec/Ior para la categoría 1 con AMC.	88
Figura 4. 22. Desempeño del BER en función del HS-DSCH Ec/Ior para la categoría 1 con AMC.	88
Figura 4. 23. Comportamiento del CQI y cambios en los parámetros de formato de transporte para el modelo de canal PA3.	90
Figura 4. 24. Comportamiento del CQI y cambios en los parámetros de formato de transporte para el modelo de canal PA3.	90
Figura 4. 25. Desempeño del CQI y cambios en los parámetros de formato de transporte para el modelo de canal VA30.	91
Figura 4. 26. Desempeño del CQI y cambios en los parámetros de formato de transporte para el modelo de canal VA120.	91
Figura 4. 27. Desempeño del <i>throughput</i> para los diferentes modelos de canal con la técnica AMC en función de SNR.	94
Figura 4. 28. Histogramas del comportamiento del CQI para los modelos de canal PA3 y PB3.	96
Figura 4. 29. Histogramas del comportamiento del CQI para los modelos de canal PA3 y PB3.	96

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. 1. CQI y parámetros del formato de transporte en un HS-DSCH con 5 códigos de UE, categorías de 1 a 6	15
Tabla 1. 2. Clasificación de las capacidades de los UE's- HSDPA para HARQ	18
Tabla 1. 3. Clases de calidad de servicio en HSDPA	20
Tabla 2. 1. Parámetros de los UE - HSDPA según la categoría.	27
Tabla 2. 2. Velocidades de transmisión de datos teórica para diferentes TFRC's.....	28
Tabla 2. 3. Especificaciones para el modelo de canal PA3.	28
Tabla 2. 4. Especificaciones para el modelo de canal PB3.	28
Tabla 2. 5. Especificaciones para el modelo de canal VA30 y VA120.	29
Tabla 3. 1. Contenido del archivo cqi_cat1-6.csv.	43
Tabla 4. 1. Parámetros por categoría UE según la definición FRC.....	64
Tabla 4. 2. Tabla de experimentos, parámetros y objetivos para la sección 4.1.	65
Tabla 4. 3. Resultados de simulación para las categorías 1, 3 y 5. Parámetros experimento 1 (tabla 4.1 y 4.2), valores de SNR y HS-DSCH Ec/Ior.....	66
Tabla 4. 4. Resultados de simulación para un UE categoría 1 con FRC. Parámetros experimento 2 (tabla 4.1 y 4.2).	68
Tabla 4. 5. Resultados de simulación para un UE categoría 5 con FRC. Parámetros experimento 2 (tabla 4.1 y 4.2).	68
Tabla 4. 6. Resultados de simulación la categoría 5. Parámetros experimento 3 (tabla 4.1 y 4.2).....	70
Tabla 4. 7. Resultados de simulación para la categoría 6. Parámetros experimento 3 (tabla 4.1 y 4.2).....	70
Tabla 4. 8. Tabla de experimentos, parámetros y objetivos para la sección 4.2.	73
Tabla 4. 9. Resultados de simulación para el modelo de canal PB3. Parámetros (Tabla 4.8).....	74
Tabla 4. 10. Resultados de simulación para el modelo de canal VA30. Parámetros (tabla 4.8).	74
Tabla 4. 11. Resultados de simulación para el modelo de canal VA120. Parámetros (tabla 4.8).	74
Tabla 4. 12. Resultados de simulación en función del SNR para cada modelo de canal con FRC. Parámetros (tabla 4.8)	79
Tabla 4. 13. Tabla de experimentos, parámetros y objetivos para la sección 4.3.....	81
Tabla 4. 14. Resultados del <i>throughput</i> para las categorías 1, 3 y 5 con la técnica AMC. Parámetros experimento 1 (tabla 4.13).	82
Tabla 4. 15. Relación del <i>throughput</i> con la tasa de datos teórica para las categorías 1, 3 y 5.....	82
Tabla 4. 16. Resultados de simulación para un UE categoría 1 con AMC. Parámetros experimento 2 (tabla 4.13).	87
Tabla 4. 17. Tabla de experimentos, parámetros y objetivos para la sección 4.4.....	89
Tabla 4. 18. Resultados del <i>throughput</i> en función del SNR para cada modelo de canal bajo con la técnica AMC. Parámetros experimento 2 (tabla 4.17).....	94

LISTA DE ACRONIMOS

16 QAM	Modulación por Amplitud en Cuadratura 16, <i>16 Quadrature Amplitude Modulation</i> .
3.5G	Generación 3.5, <i>3.5 Generation</i> .
3G	Generación 3, <i>Third Generation</i> .
3GPP	Proyecto de Cooperación en Sistemas de Tercera Generación, <i>Third Generation Partnership Project</i> .
64 QAM	Modulación por Amplitud en Cuadratura 64, <i>64 Quadrature Amplitude Modulation</i> .
ACK	Reconocimiento, <i>ACKnowledgement</i> .
AMC	Modulación y Codificación Adaptativa, <i>Adaptative Modulation and Coding</i> .
ARQ	Solicitud de Retransmisión Automática, <i>Automatic Repeat ReQuest</i> .
BER	Tasa de Error de Bit, <i>Bit Error Rate</i> .
bps	bits por segundo, <i>bits per second</i> .
BPSK	Modulación por Desplazamiento de Fase Binaria, <i>Binary Phase-Shift Keying</i> .
BW	Ancho de Banda, <i>BandWidth</i> .
CC	Combinación de Búsqueda, <i>Chase Combining</i> .
CPC	Conexión de Paquetes Continua, <i>Continuous Packet Connectivity</i> .
CPCH	Canal Común de Paquetes, <i>Common Packet Channel</i> .
CPICH	Canal Piloto Común, <i>Common Pilot Channel</i> .
CPS	chips por segundo, <i>chips per second</i> .
CQI	Indicador de Calidad del Canal, <i>Channel Quality Indicator</i> .
CRC	Verificación de Redundancia Ciclica, <i>Cyclic Redundancy Check</i> .
CN	Nucleo de Red, <i>Core Network</i>
C-RNC	Controlador de Red Radio en Control, <i>Controlling-Radio Network Controller</i> .
DCH	Canal Dedicado, <i>Dedicated CHannel</i> .
DL	Enlace de Bajada, <i>Downlink</i> .

DPCH	Canal Físico Dedicado, <i>Dedicated Physical Channel</i> .
D-RNC	Controlador de Red Radio en Derivación, <i>Drift- Radio Network Controller</i> .
DSCH	Canal Compartido en el Enlace de Bajada, <i>Downlink Shared Channel</i> .
FACH	Canal de Acceso hacia Adelante, <i>Forward Access Channel</i> .
FEC	Corrección de Errores hacia Adelante, <i>Forward Error Correction</i> .
FPC	Control Rápido de Potencia, <i>Fast Power Control</i> .
FPS	Planificación Rápida de Paquetes, <i>Fast Packet Scheduling</i> .
FRC	Canal de Referencia Fija, <i>Fixed Reference Channel</i>
HARQ	Solicitud de Retransmisión Automática Híbrida, <i>Hybrid Automatic Repeat Request</i> .
HSDPA	Acceso a Paquetes en el Enlace de Bajada de Alta Velocidad, <i>High Speed Downlink Packet Access</i> .
HS-DPCCH	Canal de Control Físico Dedicado de Alta Velocidad, <i>High Speed-Dedicated Physical Control Channel</i> .
HS-DSCH FP	Protocolo HS-DSCH de Trama, <i>HS-DSCH Frame Protocol</i> .
HS-DSCH	Canal Compartido en el Enlace de Bajada de Alta Velocidad, <i>High Speed Downlink Shared Channel</i> .
HS-PDSCH	Canal Físico Compartido en el Enlace de Bajada de Alta Velocidad, <i>High Speed Physical Downlink Shared Channel</i> .
HS-SCCH	Canal de Control Compartido de Alta Velocidad, <i>High Speed-Shared Control Channel</i> .
HSUPA	Acceso a Paquetes en Enlace de Subida de Alta Velocidad, <i>High Speed Uplink Packet Access</i> .
IMS	Subsistema Multimedia IP, <i>Internet Protocol Multimedia Subsystem</i> .
IMT-2000	Telecomunicaciones Móviles Internacionales 2000, <i>International Mobile Telecommunications 2000</i> .
IP	Protocolo de Internet, <i>Internet Protocol</i> .
IR	Redundancia Incremental, <i>Incremental Redundance</i> .
ITU	Unión Internacional de Telecomunicaciones, <i>International Telecommunications Union</i> .

LTE	Evolución a Largo Plazo, <i>Long Term Evolution</i> .
MAC	Control de Acceso al Medio, <i>Medium Access Control</i> .
MAC-hs	Control de Acceso al Medio de alta velocidad, <i>Medium Access Control-high speed</i> .
MBMS	Servicios de Multi distribución y Difusión Multimedia, <i>Multimedia Broadcast and Multicast Service</i> .
Mbps	Megabits por segundo, <i>Megabits per second</i> .
Mcps	Megachips por segundo, <i>Megachips per second</i> .
MIMO	Múltiples Entradas Múltiples Salidas, <i>Multiple Input Multiple Output</i> .
MMS	Servicio de Mensajería Multimedia, <i>Multimedia Messaging Service</i> .
MR	Tasa Máxima, <i>Maximum Rate</i> .
NACK	Reconocimiento Negativo, <i>Negative ACKnowledgement</i> .
NDI	Indicador de Datos Nuevos, <i>New Data Indicator</i> .
NOC	Centro de Operación de la Red, <i>Network Operation Center</i> .
OCNS	Simulador de Ruido de Canal Ortogonal, <i>Orthogonal Channel Noise Simulator</i> .
OFDMA	Acceso Múltiple por División de Frecuencia Ortogonal, <i>Orthogonal Frequency Division Multiple Access</i> .
ORR	Fuera de Rango, <i>Out Of Range</i> .
OSI	Interconexión de Sistemas Abiertos, <i>Open System Interconnection</i> .
PCCH	Canal de Control de Notificación, <i>Paging Control Channel</i> .
PCCPCH	Canal Piloto de Control Común Primario, <i>Primary Common Control Physical Channel</i>
PCH	Canal de Notificación, <i>Paging Channel</i> .
PDU	Unidad de Datos del Protocolo, <i>Protocol Data Unit</i> .
PER	Tasa de Error de Paquete, <i>Packet Error Rate</i> .
PF	Equitativamente Proporcional, <i>Proportionally Fair</i> .
PSCH	Canal de Sincronización Primario, <i>Primary Synchronization Channel</i> .
QoS	Calidad de Servicio, <i>Quality of Service</i> .

QPSK	Modulación por Desplazamiento de Fase en Cuadratura, <i>Quadrature Phase-Shift Keying</i> .
R5	Versión 5, <i>Release 5</i> .
R7	Versión 7, <i>Release 7</i> .
R8	Versión 8, <i>Release 8</i> .
R99	Versión 99, <i>Release 99</i> .
RACH	Canal de Acceso Aleatorio, <i>Random Access Channel</i> .
RAN	Red de Acceso Radio, <i>Radio Access Network</i> .
RLC	Controlador de Enlace Radio, <i>Radio Link Controller</i> .
RNC	Controlador de Red Radio, <i>Radio Network Controller</i> .
RRC	Controlador de Recursos Radio, <i>Radio Resource Controller</i> .
RTT	Tiempo de Ida y Vuelta, <i>Round Trip Time</i> .
SAP	Punto de Acceso al Servicio, <i>Service Access Point</i> .
SaW	Pare y Espere, <i>Stop and Wait</i> .
SCH	Canal de Sincronización, <i>Synchronization CHannel</i> .
SF	Factor de Ensanchamiento, <i>Spreading Factor</i> .
SHO	Traspaso Suave, <i>Soft Handover</i> .
SIR	Relación Señal a Interferencia, <i>Signal to Interference Ratio</i> .
SMS	Servicio de Mensajes Cortos, <i>Short Message Service</i> .
SNR	Relación Señal a Ruido, <i>Signal Noise Ratio</i> .
SPD	Diseñador de Procesamiento de Señal, <i>Signal Processing Designer</i> .
SR	Repetición Selectiva, <i>Selective Repeat</i> .
SR	Tasa de Simbolos, <i>Symbol Rate</i> .
S-RNC	Controlador de Red Radio en Servicio, <i>Serving- Radio Network Controller</i> .
SS	Espectro Ensanchado, <i>Spread Spectrum</i> .
SSCH	Canal de Sincronización Secundario, <i>Secondary Synchronization Channel</i> .

TBS	Tamaño del Bloque de Transporte, <i>Transport Block Size</i> .
TFRC	Combinación de Recursos del Formato de Transporte, <i>Transport Format Resource Combination</i> .
TFRI	Indicador de Recurso de Formato de Transporte, <i>Transport Format Resource Indicator</i> .
TSN	Número de Secuencia de Transmisión, <i>Transmission Sequence Number</i> .
TTI	Intervalo de Tiempo de Transmisión, <i>Transmission Time Interval</i> .
UE	Equipo de Usuario, <i>User Equipment</i> .
UMTS	Sistema Universal de Telecomunicaciones Móviles, <i>Universal Mobile Telecommunications System</i> .
UL	Enlace de Subida, <i>Uplink</i> .
UTRAN	Red de Acceso Radio Terrestre UMTS, <i>UMTS Terrestrial Radio Access Network</i> .
VRC	Canal de Referencia Variable, <i>Variable Reference Channel</i>
WCDMA	Acceso Múltiple por División de Código de Banda Ancha, <i>Wideband Code Division Multiple Access</i> .

DEFINICIONES

loc	Densidad espectral de potencia de una fuente de ruido blanco limitado en banda (integrada en un ancho de banda igual a la tasa de chip y normalizada a la tasa de chip), que simula interferencia desde otras celdas, medida en el conector del UE. loc es la densidad espectral de potencia de todas las celdas a las que el UE no está conectado [25].
Ior	Densidad espectral de potencia total de la señal transmitida a un UE en el enlace de bajada, la cual es medida en el conector de la antena del Nodo B (integrada en un ancho de banda de $(1+\alpha)$ veces la tasa de chip y normalizada a la tasa de chip) [25].
$\hat{I}or$	Densidad espectral de potencia recibida de la señal en el enlace de bajada, la cual es medida en el conector de antena del UE (integrada en un ancho de banda de $(1+\alpha)$ veces la tasa de chip y normalizada a la tasa de chip) [25].
$\hat{I}or/loc$	Relación de la densidad espectral de potencia recibida en la antena del UE a la densidad espectral de potencia de interferencia proveniente de otras celdas, a través de la cual se estima la relación señal a ruido (SNR) [25].
HS-DSCH E_c/I_{or}	Relación de energía transmitida por chip del canal HS-DSCH con respecto a la densidad espectral de potencia total transmitida en el conector de la antena del Nodo B [25]. Esta relación define la relación de la potencia transmitida desde el Nodo B en el canal HS-DSCH, con respecto a la potencia total disponible en el Nodo B.
C-RNC	Controlador de Red Radio (RNC, <i>Radio Network Controller</i>) responsable de la configuración del Nodo B. Un Equipo de Usuario (UE, <i>User Equipment</i>) solicita el acceso a la red a través del Nodo B, el cual a su vez enviará este mensaje a su C-RNC [18] [19] Cada estación base (Nodo B) tiene un C-RNC, el cual es responsable del Nodo B y de todas las celdas pertenecientes a ese Nodo B.
S-RNC	Controlador de Red Radio (RNC) a través del cual se conecta el Equipo de Usuario (UE, <i>User Equipment</i>) a la red. Un UE conectado a la red siempre se asocia a un S-RNC. Las siguientes son funciones claves del S-RNC: establecer la comunicación a nivel de enlace con el UE y ejecutar el control de admisión sobre nuevas solicitudes de los UE's o servicios que intentan comunicarse con el Núcleo de Red (CN, <i>Core Network</i>) a través de la interfaz Iu. El control de admisión

asegura que a los UE's solo se les asigna recursos radio disponibles [18] [29].

D-RNC

Controlador de Red Radio (RNC) que existe en la situación donde un S-RNC tiene conexión a un Equipo de Usuario (UE) a través de una celda que se encuentra controlada por otro RNC. El otro RNC se comporta como un C-RNC para la celda en cuestión y al mismo tiempo D-RNC para el Equipo de Usuario (UE) [18].

INTRODUCCIÓN

La tecnología de Acceso a Paquetes en el Enlace de Bajada de Alta Velocidad (HSDPA, *High Speed Downlink Packet Access*) especificada en la Versión 5 (R5, *Release 5*) del Proyecto de Cooperación en Sistemas de Tercera Generación (3GPP, *Third Generation Partnership Project*), surge debido a la alta demanda de los usuarios por obtener mayores velocidades de transmisión de datos en el Enlace de Bajada (DL, *DownLink*) y otros aspectos relacionados tales como calidad de Servicio (QoS, *Quality of Service*) y eficiencia espectral, todo basado en su tecnología base denominada Acceso Múltiple por División de Código de Banda Ancha (WCDMA, *Wideband Code Division Multiple Access*), la cual hace parte de las tecnologías de Tercera Generación (3G, *Third Generation*). La evolución de WCDMA o Sistema Universal de Telecomunicaciones Móviles (UMTS, *Universal Mobile Telecommunications System*) (3G) es conocida comercialmente como HSDPA (3.5G). HSDPA incrementa la capacidad y velocidad de transmisión de datos en el enlace de bajada hasta en 14.4 Mbps [2].

Los cambios de HSDPA para obtener altas velocidades de transmisión de datos se encuentran relacionados con la inclusión de un Canal Compartido en el Enlace de Bajada de Alta Velocidad (HS-DSCH, *High Speed Downlink Shared Channel*) y técnicas novedosas tales como: Solicitud de Retransmisión Automática Híbrida (HARQ, *Hybrid Automatic Repeat ReQuest*), técnica o procedimiento en la cual en caso de errores se solicita la retransmisión de la información y se combina las distintas retransmisiones con el objeto de obtener una mayor probabilidad de éxito en la decodificación de los datos y por lo tanto un mejor desempeño; Modulación y Codificación Adaptativa (AMC, *Adaptative Modulation and Coding*), la cual incorpora una modulación de mayor orden como lo es la Modulación por Amplitud en Cuadratura 16, (16 QAM, *16 Quadrature Amplitude Modulation*) y una tasa de codificación variable; además de un mecanismo de Planificación Rápida de Paquetes (FPS, *Fast Packet Scheduling*). Otra mejora de la tecnología HSDPA es la adición de una entidad de repetición/planificación dentro del Nodo B, la cual disminuye los tiempos de latencia de la red (menores a 100ms) y de esta manera se obtiene mejores tiempos de respuesta [3].

Una de las principales ventajas en la tecnología HSDPA es el aumento de usuarios en una misma celda, este aumento se da gracias a que varios usuarios pueden compartir los recursos del sistema tanto en el dominio del tiempo como en el de código.

Este trabajo de grado exhibe un enfoque tanto teórico como metodológico, el cual va de la mano con la simulación y el análisis de los resultados obtenidos sobre un enlace a nivel físico y de enlace de datos de la tecnología HSDPA. En el primer capítulo se presentan los conceptos generales de HSDPA, sus características básicas, la estructura de protocolos, el nivel físico, las funcionalidades de los canales físicos, y aspectos de la AMC, la HARQ, y la FPS. El segundo capítulo se presenta características y capacidades de los terminales así como aspectos relevantes de la red de acceso radio, el impacto sobre la arquitectura de la red del sistema, los procedimientos a nivel físico de una comunicación HSDPA y los modelos de canales radio 3GPP especificados por la ITU. El capítulo 3 muestra la implementación del modelo de simulación a nivel de enlace, donde se describe cada uno de los bloques correspondientes a la tecnología HSDPA desde el transmisor pasando por el canal hasta llegar al receptor. El cuarto capítulo contiene los resultados obtenidos y el análisis de los mismos. Por último en un anexo se trata la adaptación y aplicación de una metodología de simulación de sistemas de telecomunicaciones a HSDPA.

CAPÍTULO 1

CONCEPTOS GENERALES DE HSDPA

1.1 Características Generales

HSDPA es una tecnología celular la cual permite aumentar la velocidad de transmisión de datos en el DL, permitiendo alcanzar velocidades teóricas de hasta 14.4 Mbps. La tecnología consigue estas mejoras gracias a una serie de técnicas y un canal de alta velocidad.

- ✓ **Canal Compartido en el Enlace de Bajada de Alta Velocidad:** como su nombre lo indica este canal puede ser compartido por varios usuarios, además el canal soporta multicanalización y es transmitido cada 2 ms [1].
- ✓ **Adaptación dinámica del enlace en el canal radio:** la transmisión de datos se adapta rápidamente según las condiciones del canal. Estas adaptaciones rápidas son aptas para los servicios que toleran variaciones en periodos de tiempo muy cortos. La técnica se denomina AMC y es más eficaz a la hora de compensar las degradaciones que se presentan en el canal radio, con respecto a la Versión 99 (R99, *Release 99*) en la cual las degradaciones se compensaban con Control Rápido de Potencia (FPC, *Fast Power Control*) [4].
- ✓ **Solicitud de Retransmisión Automática Híbrida:** esta técnica se utiliza cuando un UE hace una solicitud de retransmisión debido a la recepción errónea de datos; gracias a la combinación de las retransmisiones solicitadas por el Equipo de Usuario (UE, *User Equipment*), se logra obtener una mayor probabilidad de éxito en la decodificación de datos. Al utilizar la Combinación de Búsqueda (CC, *Chase Combining*) en las retransmisiones, se envían los mismos datos que el Nodo B envió por última vez al UE. Mientras que si se despachan datos que surgen de la combinación de los datos originales y redundancia, entonces se está utilizando la técnica denominada Redundancia Incremental (IR, *Incremental Redundance*). La IR se utiliza para que el UE decodifique la información con éxito sin redundancia considerable y que la redundancia se incremente a medida que se soliciten retransmisiones del mismo paquete [5].
- ✓ **Planificación Rápida de Paquetes:** ayuda a que el usuario tenga mayores velocidades de transmisión de datos cuando este tenga condiciones en el canal radio favorables, con esta novedosa técnica se obtiene una mejora en el uso de los recursos compartidos en el DL. La FPS es monitoreada por el Control de Acceso al Medio – control/compartido (MAC-c/sh, *Medium Access Control –control/shared*) y soportada por la transmisión de datos en intervalos cortos de tiempo de 2 ms [6].

HSDPA además incluye un Indicador de Calidad del Canal (CQI, *Channel Quality Indicator*) que envía información desde el UE al Nodo B. Este indicador reporta lecturas de acuerdo a la potencia del Canal de Piloto Común (CPICH, *Common Pilot Channel*) recibida, las cuales sirven para determinar los parámetros de transmisión del Nodo B. Este indicador ayuda a que el Nodo B determine la modulación y codificación más adecuada para los paquetes que se transmitirán. Esta

mejora hace que cada UE pueda recibir grandes volúmenes de información en condiciones favorables del canal en un determinado intervalo de tiempo. En la figura 1.1 se muestra una transmisión a dos usuarios con diferentes comportamientos del canal radio en un mismo tiempo. En la figura 1.1 se observa que los datos son transmitidos aquellos usuarios cuyo canal presente las mejores condiciones de propagación.

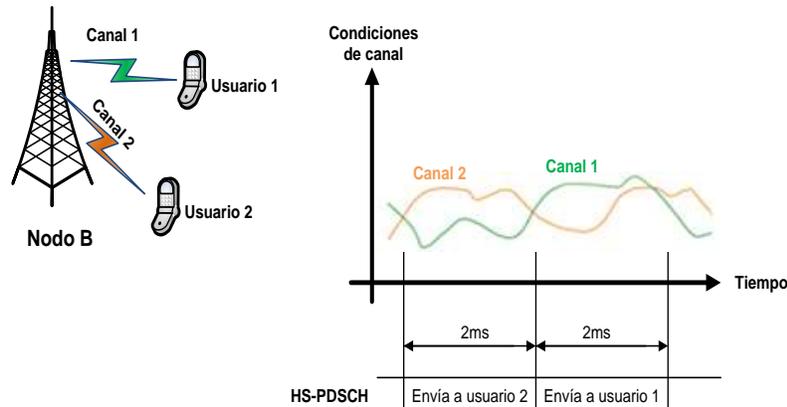


Figura 1. 1. Transmisión a dos usuarios con diferente comportamiento del canal [31].

La tecnología antecesora a HSDPA denominada WCDMA se encuentra descrita en el R99 y es una de las tecnologías o interfaces del grupo de estándares de las Telecomunicaciones Móviles Internacionales 2000 (IMT2000, *International Mobile Telecommunications 2000*). WCDMA utiliza un espectro de 5 MHz que es compartido por todos los usuarios, y brinda velocidades aproximadas de 384 Kbps y en condiciones óptimas alcanza velocidades de descarga de hasta 2 Mbps [7].

Además de las mejoras de velocidad de transmisión de datos, HSDPA soporta en su núcleo el Protocolo de Internet (IP, *Internet Protocol*) el cual trabaja bajo el marco del Subsistema Multimedia IP¹ (IMS, *Internet Protocol Multimedia Subsystem*). Este subsistema brinda soporte a servicios multimedia interactivos y nuevas aplicaciones de banda ancha, tales como servicios de video telefonía y video conferencia.

Las investigaciones sobre tecnologías avanzadas de comunicaciones móviles continúan y el 3GPP ha generado nuevas versiones que describen mejoras respecto a sus tecnologías antecesoras. A finales del año 2004 se publica la Versión 6 (R6, *Release 6*), en ella se especifica la tecnología de Acceso a Paquetes en Enlace de Subida de Alta Velocidad (HSUPA, *High Speed Uplink Packet Access*), la cual se desplegó comercialmente en el año 2007. Una de las principales mejoras de esta tecnología es el incremento en la velocidad de transmisión de datos en el UL, la cual alcanzó hasta 5.76 Mbps. HSUPA logra estas mejoras gracias a la introducción de técnicas como son la FPS y HARQ (Nodo B) en el UL, la introducción de un nuevo canal llamado Canal Dedicado Mejorado (E-

¹ IMS: Es una plataforma de control de servicios basado en el Protocolo de Inicialización de Sesión (SIP, *Session Initiation Protocol*) que permite al operador ofrecer servicios multimedia sobre una red de conmutación de paquetes [17].

DCH, *Enhanced Dedicated Channel*) que utiliza TTI's más cortos (2 ms/10 ms) y transmisión multicodego, lo cual reduce la latencia en la red y aumenta la velocidad de transmisión de datos en el UL. Esta versión, además incorpora el Servicio Multidistribución y Difusión Multimedia² (MBMS, *Multimedia Broadcast and Multicast Service*). Este servicio es unidireccional punto a multipunto, en el cual los datos de usuario son transmitidos desde un Nodo B a varios UE's (área de servicio difusión multimedia y área de multidistribución (subscriptores)) [3][9][10].

A finales del 2006 el 3GPP dio a conocer la Versión 7 (R7, *Release 7*) o comúnmente conocida como Acceso a Paquetes de Alta Velocidad + (HSPA+, *High Speed Packet Access +*), la cual mejoró las velocidades de transmisión de datos en UL y DL. Esta tecnología utiliza sistemas de antena de Múltiples Entradas Múltiples Salidas (MIMO, *Multiple Input Multiple Output*) [20]. Adicionalmente la tecnología HSPA+ incorpora:

- ✓ Modulación por Amplitud en Cuadratura 64 (64 QAM, *64 Quadrature Amplitude Modulation*).
- ✓ Conexión de Paquetes Continua (CPC, *Continuous Packet Connectivity*) para usuarios de datos.
- ✓ Fusión del Nodo B y el RNC en la Red de Acceso Radio (RAN, *Radio Access Network*).
- ✓ Reducción de latencia y Tiempo de Ida y Vuelta (RTT, *Round Trip Time*).

Finalmente se encuentra la Versión 8 (R8, *Release 8*) la cual definió el CN totalmente basado en IP. Esta versión utiliza la técnica de Acceso al Medio por División de Frecuencia Ortogonal (OFDMA, *Orthogonal Frequency Division Multiple Access*) y los Anchos de Banda (BW, *BandWidth*) de cana varían desde 1.25 MHz hasta 20 MHz [11].

1.2 Estructura Del Protocolo

La funcionalidad de HSDPA no afecta a los protocolos de los niveles superiores. La HARQ y el FPS se incluyen en una nueva entidad denominada Control de Acceso al Medio-de alta velocidad (MAC-hs, *Medium Access Control-high speed*) la cual se implementa dentro del Nodo B. Esta entidad también controla el canal de transporte HS-DSCH [12]. El HS-DSCH es un canal de alta velocidad y se encarga de transportar los datos de usuario, además soporta esquemas de modulación como es Modulación por Desplazamiento de Fase en Cuadratura (QPSK, *Quadrature Phase-Shift Keying*) y 16 QAM, utiliza Intervalos de Tiempo de Transmisión³(TTI, *Transmission Time Interval*) de 2 ms que equivalen a una subtrama⁴ (subtrama igual a 3 ranuras. Una ranura es igual a 2560 chips), todo esto en el DL.

² MBMS: Es un servicio unidireccional punto a multipunto en el cual los datos multimedia se transmiten desde una única entidad fuente a un grupo de usuarios en un área específica.

³ TTI: Intervalo de tiempo en el cual se transmite un bloque de datos proveniente de los niveles superiores.

⁴ Subtrama: Es igual a un TTI con una duración de 2 ms y tiene tres ranuras, donde cada ranura es de 0.67 ms o 2560 chips.

La arquitectura de red de HSDPA se muestra en la figura 1.2, en ella se observa la Red de Acceso Radio Terrestre UMTS (UTRAN, *UMTS Terrestrial Radio Access Network*) y quienes la conforman, el CN y el UE, además de las interfaces radio que las conectan.

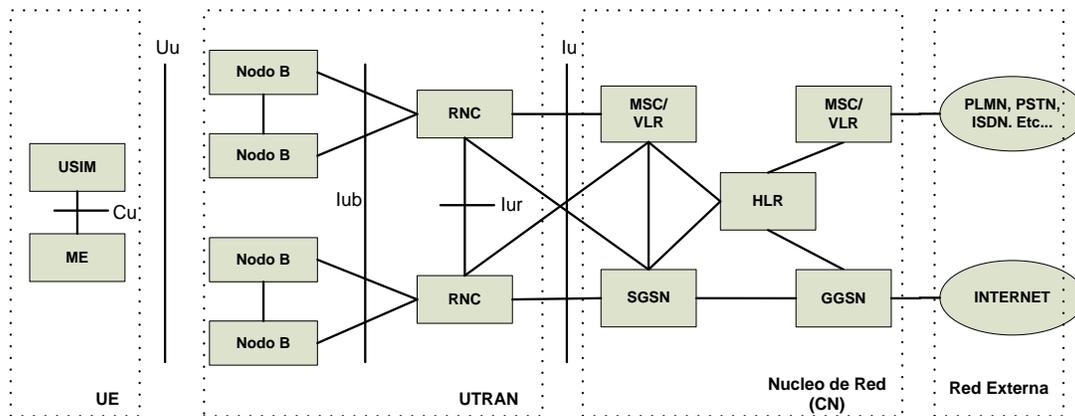


Figura 1. 2. Arquitectura de la red HSDPA [13].

La arquitectura de protocolos que implementa HSDPA se observa en la figura 1.3, en la cual se muestra en el Nodo B la entidad MAC-hs y en el Controlador de la Red Radio en Control (C-RNC, *Controlling - Radio Network Controller*)/ Controlador de la Red Radio en Derivación (D-RNC, *Drift-Radio Network Controller*) C-RNC/D-RNC la entidad de Control de Acceso al Medio – control/compartido (MAC-c/sh, *Medium Access Control –control/shared*). La diferencia entre estas entidades radica en que el MAC-hs implementa las innovaciones de HSDPA como son el FPS y el protocolo HARQ, además de otras funciones como son el control de flujo y selección de la Combinación de Recursos del Formato de Transporte (TFRC, *Transport Format Resource Combination*). Por otra parte el MAC-c/sh es el encargado de realizar las tareas de control y del manejo de canales compartidos, mientras que el Control de Acceso al Medio – dedicado (MAC-d, *Medium Access Control - dedicated*) se encarga de ejercer un control sobre los canales dedicados. Las funcionalidades del Controlador de Red Radio en Servicio (S-RNC, *Serving-Radio Network Controller*) se detallan en la sección 1.4. El Protocolo de Trama HS-DSCH (HS-DSCH FP, *HS-DSCH Frame Protocol*) se encarga del transporte de datos del S-RNC al C-RNC y entre el C-RNC y el Nodo B [12]. El Control de Enlace Radio (RLC, *Radio Link Control*) proporciona servicios de enlace de radio entre la UE y la red. Este se conecta con el nivel físico a través de canales lógicos.

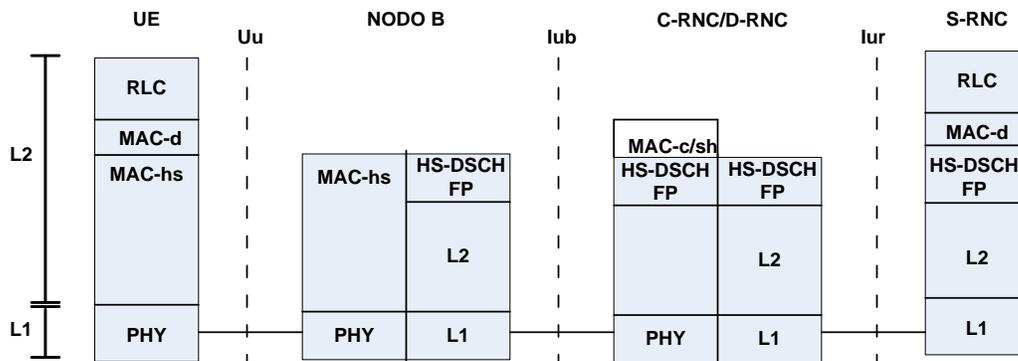


Figura 1. 3. Arquitectura de protocolos de la interfaz radio de HSDPA [12].

1.3 Estructura Del Nivel Físico

La tecnología HSDPA incluye tres nuevos canales en el nivel físico los cuales son: Canal Físico Compartido en el Enlace de Bajada de Alta Velocidad (HS-PDSCH, *High Speed Physical Downlink Shared Channel*), el Canal de Control Compartido de Alta Velocidad (HS-SCCH, *High Speed-Shared Control Channel*) y el Canal de Control Físico Dedicado de Alta Velocidad (HS-DPCCH, *High Speed-Dedicated Physical Control Channel*) [12].

El canal que transporta los datos de usuario en DL y que en teoría alcanza velocidades de hasta 14.4 Mbps con modulación 16 QAM y transmisión multicódigo (15 códigos) es el canal HS-DSCH mapeado en el canal físico HS-PDSCH, y el cual utiliza un Factor de Ensanchamiento (SF^5 , *Spreading Factor*) fijo igual a 16. En la figura 1.4 se muestra la cadena de codificación y multiplexación del canal de transporte HS-DSCH.

El canal físico HS-SCCH transporta la información de control necesaria para la decodificación del HS-PDSCH, además maneja lo relacionado con HARQ y el Indicador de Recurso de Formato de Transporte (TFRI⁶, *Transport Format Resource Indicator*).

El HS-DPCCH transporta información de control correspondiente al Reconocimiento (ACK, *ACKnowledgement*) y el CQI en el UL.

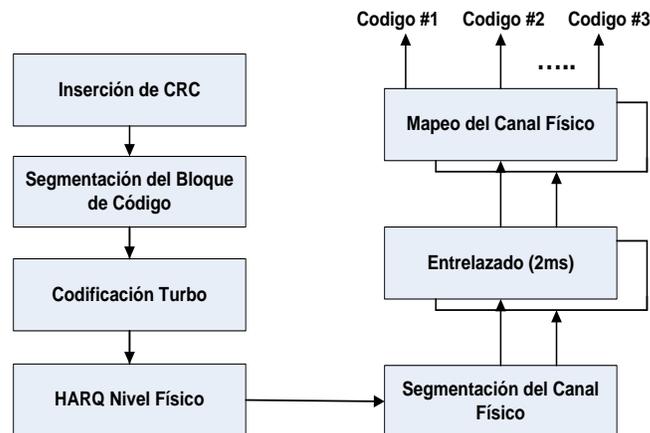


Figura 1. 4. Cadena de codificación y multiplexación a nivel físico del canal HS-DSCH [3].

La cantidad de información en un Intervalo de Tiempo de Transmisión (TTI, *Transmission Time Interval*) se determina por el Tamaño del Bloque de Transporte (TBS⁷, *Transport Block Size*). Esta información se transporta en el HS-PDSCH el cual soporta 5, 10 y 15 códigos de canalización en paralelo (depende de la categoría UE). El canal además soporta un máximo de 960 bits con QPSK y 1920 bits con modulación 16QAM por código de canalización. El diagrama de constelaciones de las modulaciones empleadas por el canal HS-PDSCH se muestra en la figura 1.5.

⁵ SF: Especifica la cantidad de chips por bit.

⁶ TFRI: Contiene información dinámica del formato de transporte del HS-DSCH, incluyendo la cantidad de información del bloque de transporte, el esquema de modulación y los códigos de canalización.

⁷ TBS: Cantidad de información en un TTI. Un TBS es igual a 15 TTI.

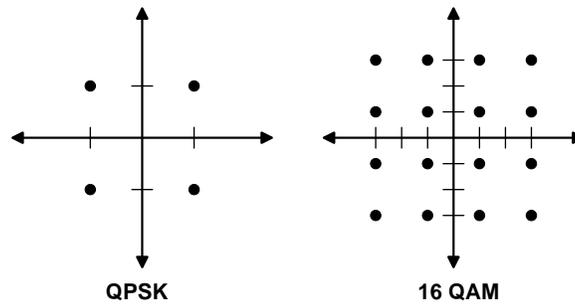


Figura 1. 5. Diagrama de constelaciones [3].

HSDPA transmite a una Tasa de Chip (CR, *Chip Rate*) igual a 3840000 cps. A partir de la ecuación 1.1 se determina la Tasa de símbolos (SR, *Symbol Rate*).

$$SR = \frac{CR}{SF} = \frac{3840000 \frac{\text{chips}}{\text{s}}}{16 \frac{\text{chips}}{\text{simbolo}}} = 240000 \frac{\text{simbolos}}{\text{s}} \quad (1.1)$$

En las ecuaciones 1.2 y 1.3 se muestran el número de bits por segundo en la transmisión de datos con modulación QPSK (2 bits/símbolo) y 16QAM (4 bits/símbolo).

$$240000 \frac{\text{simbolos}}{\text{segundo}} * 2 \frac{\text{bits}}{\text{simbolo}} = 480000 \text{ bps} \quad (1.2)$$

$$240000 \frac{\text{simbolos}}{\text{segundo}} * 4 \frac{\text{bits}}{\text{simbolo}} = 960000 \text{ bps} \quad (1.3)$$

En la ecuación 1.4 se muestra la máxima velocidad de transmisión de datos teórica, la cual utiliza la modulación 16QAM y 15 códigos de canalización.

$$960000 \frac{\text{bits}}{\text{segundo}} * 15 = 14400000 \text{ bps} \quad (1.4)$$

1.3.1 Funcionalidades Relacionadas Con El HS-DSCH

El HS-DSCH utiliza un TTI, este tiene una duración de 2 ms, menor en comparación con los 10, 20, 40 y 80 ms que soportaba la R99.

Una importante propiedad del HS-DSCH en HSDPA es la naturaleza en la asignación dinámica de recursos, que opera en el corto periodo del TTI. Cuando no existen datos para transmitir en el HS-DSCH, sus recursos o capacidad se asignan a otro usuario durante 2 ms.

El esquema de codificación de canal utilizado para el canal HS-DSCH es la codificación turbo, la cual utiliza tasas de codificación de 1/4, 1/3, 2/4, 3/4 y 4/4, siendo la más utilizada la de 1/3. Se descarta la opción de codificación convolucional utilizada en la R99, debido a que es menos eficiente que la codificación turbo para bloques con grandes cantidades de datos. En el HS-DSCH existe un solo canal de transporte activo de manera simultánea, esto implica un menor número de pasos en los procesos de codificación/decodificación y multiplexación/demultiplexación.

HSDPA utiliza múltiples códigos en paralelo. Estos códigos son una serie de pulsos binarios de alta velocidad (códigos de pseudoruido o códigos de canalización) o chips. Al combinar esta señal de chips con la señal original se obtiene una señal de Espectro Ensamado (SS, *Spread Spectrum*), esta se obtiene después del procesamiento a nivel de radiofrecuencia (modulación) se transmite al receptor. En recepción, después del procesamiento a nivel de radiofrecuencia (demodulación) la señal de espectro ensanchado en banda base se combina con la misma serie de pulsos binarios de alta velocidad (código de pseudoruido o código de canalización) utilizados en el transmisor, esto permite desensanchar la señal y recuperar la información original. Este proceso se muestra en la figura 1.6. El contar con múltiples códigos en paralelo es equivalente a contar con múltiples canales o líneas de comunicación actuando de manera paralela o simultánea, que en conjunto permiten incrementar la velocidad de transmisión de datos.

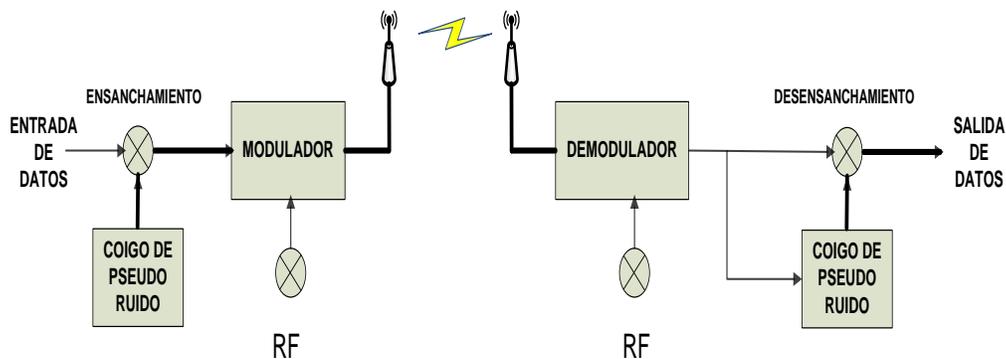


Figura 1. 6. Proceso de ensanchamiento y desensanchamiento de la señal de datos. [31].

Al realizar la decodificación de canal en el receptor pueden detectarse errores (dada por la CRC) en la información recibida, normalmente ocasionados por perturbaciones en el canal, y si ese es el caso, el receptor envía un Acuse de Recibo Negativo (NACK) al transmisor para que este envíe nuevamente el bloque de datos.

El mecanismo de control de flujo usado para la retransmisión de la información se llama Pare y Espera (SaW, *Stop and Wait*). Este mecanismo envía un bloque de datos desde el transmisor y espera la confirmación de la recepción de este antes de enviar el siguiente bloque de datos. La confirmación que envía el receptor se realiza mediante un acuse de recibo (ACK) (número de bit de secuencia). En contraste con el SaW, el mecanismo de control de flujo llamado Repetición Selectiva (SR, *Selective Repeat*) es más eficiente, ya que se basa en la utilización de una ventana deslizante, en el cual se envían de manera consecutiva todos los bloques de datos dentro del largo definido por la ventana, y el receptor va enviando ACKs por cada bloque recibido. Con este

método, se soluciona el problema de la ineficiencia que presenta SAW, no obstante se requiere mayor información de señalización.

Al usar HARQ aparece una nueva dificultad, el UE requiere una mayor memoria para almacenar cada bloque que recibe con errores o sin errores [12].

1.3.2 Funcionalidades Relacionadas Con El HS-SCCH

Toda señalización de DL relacionada al HS-DSCH es transmitida en un HS-SCCH , este maneja una velocidad de transmisión de datos fija de 60 Kbps y un SF igual a 128 con modulación QPSK.

La subtrama del canal HS-SCCH lleva información de control y se divide en dos partes: la primera parte contiene información sobre el Conjunto de Códigos de Canalización (CCS, *Channelisation Code Set*) y el esquema de modulación utilizado, y la segunda parte contiene información relacionada con el formato del Bloque de Transporte (TB), el proceso HARQ (número del proceso), la versión de redundancia (Xrv), el Indicador de Datos Nuevos (NDI, *New Data Indicator*), y el identificador de UE (ID UE) junto a la adición de la CRC.

Parte 1: La información relacionada con el TFRI se encuentra en la parte 1 así:

- ✓ CCS: indica los códigos de canalización usados para la transmisión del HS-PDSCH, tales como los códigos ortogonales y multicódigo para la transmisión del HS-PDSCH (7 bits).
- ✓ Mod: indica el esquema de modulación a utilizar. Este campo toma el valor de 0 o 1, donde 0 se relaciona a modulación QPSK, y 1 a modulación 16QAM (1 bit).

Parte 2: La información relacionada con el HARQ y UE se encuentra en la parte 2 así:

- ✓ Formato TB: indica el formato del Bloque de Transporte a utilizar. Utiliza 4 diferentes formas de transporte configuradas por los niveles superiores (2 bits).
- ✓ HARQ: Indica el número del proceso HARQ utilizado. Utiliza 8 procesos diferentes (3 bits).
- ✓ Xrv: Indica la versión de redundancia utilizada (6 bits).
- ✓ NDI: indica si los datos que se envían son nuevos o corresponden a una retransmisión, (1 bit).
- ✓ UE-ID-CRC: es el identificador específico del UE y adiciona la CRC (16 bits).

El esquema de la información de control del HS-SCCH se muestra en la figura 1.7.

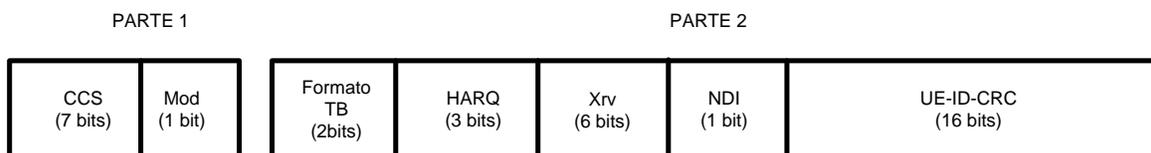


Figura 1. 7. Estructura de la subtrama HS-SCCH.

En el UE la información de control necesaria para la demodulación y decodificación del HS-DSCH es obtenida del HS-SCCH. Adicionalmente el HS-SCCH brinda información acerca de los usuarios a los cuales va dirigida información en el HS-DSCH en el siguiente TTI. El UE monitorea hasta cuatro HS-

SCCHs al inicio de una comunicación y al detectar información de control deseada en una subtrama, el UE tiene en cuenta únicamente esa subtrama del HS-SCCH. El tiempo entre el inicio del HS-SCCH y el HS-DSCH es fijado en dos ranuras o 5120 chips, con el fin de que el UE esté listo a la recepción del HS-DSCH. La secuencia de la parte 1 es mapeada en la primera de las tres ranuras del HS-SCCH, mientras que la parte 2 es mapeada en la segunda y tercer ranura. Todo lo anterior se visualiza en la figura 1.8 [12].

1.3.3 Funcionalidades Relacionadas Con El HS-DPCCH

La señalización de retroalimentación en el canal de subida asociada al HS-DSCH es transportada por el HS-DPCCH, este canal tiene un SF igual a 256 y una velocidad de transmisión de datos igual a 15 kbps con modulación Desplazamiento de Fase Binaria (BPSK, *Binary Phase-Shift Keying*). Esta señalización consiste de 10 bits para el proceso HARQ-ACK (primera ranura de la subtrama) y 20 bits para el CQI (ranura 2 y 3 de la subtrama), tal como se muestra en la figura 1.8. El canal de control en el enlace de subida HS-DPCCH es enviado 5 ms después de finalizar la recepción del canal HS-DSCH como lo muestra la figura 1.9 [12].

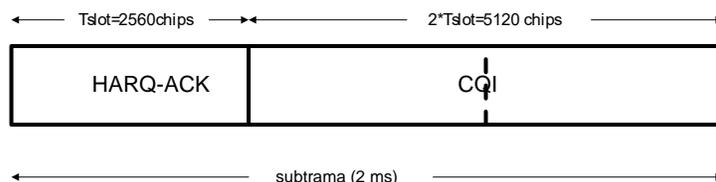


Figura 1. 8. Diagrama del HS-DPCCH.

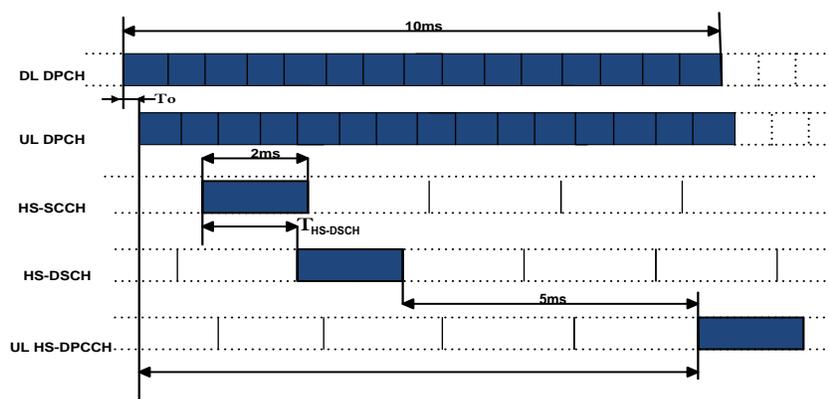


Figura 1. 9. Diagrama del HS-DPCCH.

1.4 MAC y Funcionalidad MAC-hs

El subnivel MAC en HSDPA contiene diferentes entidades funcionales tanto en lado de la Red de Acceso Radio Terrestre UMTS (UTRAN, *UMTS Terrestrial Radio Access Network*) como en el lado del UE. Cabe mencionar que el protocolo del subnivel MAC no es simétrico, esto quiere decir que sus entidades son diferentes [12].

El MAC-d mapea canales lógicos en canales de transporte dedicados. El UE tiene una MAC-d, y la UTRAN tiene una MAC-d por cada UE.

El MAC-c/sh es responsable de los siguientes canales: Canal de Notificación (PCH, *Paging Channel*), Canal Compartido en el Enlace de Bajada (DSCH, *Downlink Shared Channel*), Canal de Acceso hacia Adelante (FACH, *Forward Access Channel*), Canal de Control de Notificación (PCCH, *Paging Control Channel*) y el Canal de Acceso Aleatorio (RACH, *Random Access Channel*). Existe una entidad MAC-c/sh en el UE, y una en la UTRAN por cada celda [12].

En las figuras 1.10 y 1.11 se muestra la arquitectura del subnivel MAC en HSDPA del lado UTRAN y del lado UE respectivamente.

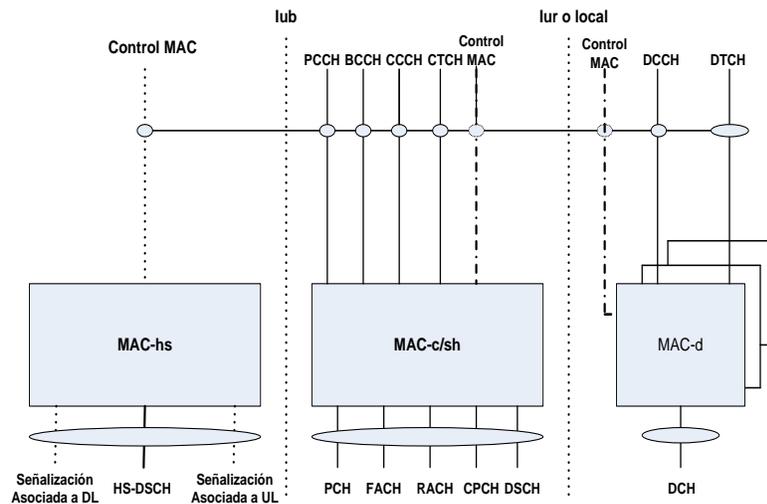


Figura 1. 10. Arquitectura del subnivel MAC del lado UTRAN con HSDPA [12].

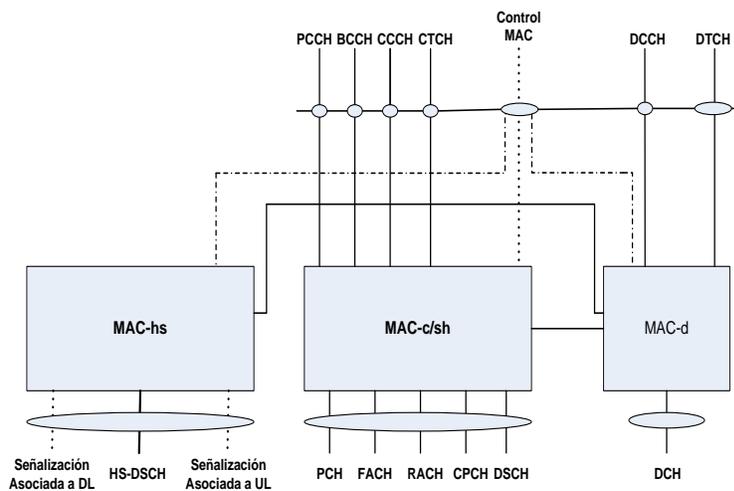


Figura 1. 11. Arquitectura del subnivel MAC del lado UE con HSDPA [12].

En la figura 1.12 se muestra la estructura MAC-hs de la arquitectura del subnivel MAC en el lado UTRAN, en esta se observan cuatro componentes lógicos en el DL.

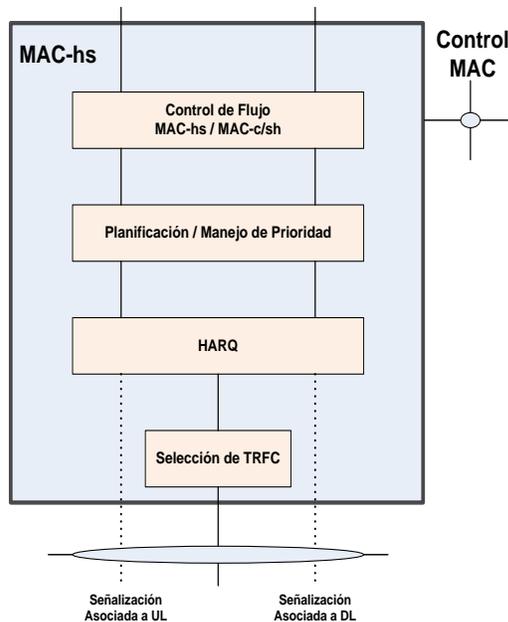


Figura 1. 12. Estructura MAC-hs del lado UTRAN [12] [13].

A continuación se describen las entidades de la estructura MAC-hs del lado UTRAN [12] [13]:

1. Control de Flujo: Brinda un control a los datos entre el MAC-c/sh y la MAC-hs (o entre el MAC-d y MAC-hs en el caso de configuración sin MAC-c/sh), teniendo en cuenta las capacidades de transmisión de la interfaz radio. Esta entidad de control de flujo, es independiente para cada clase de prioridad y busca reducir las tasas de paquetes descartados y retransmitidos como consecuencia de la congestión del HS-DSCH.
2. Planificación/Gestión de prioridades (*Scheduling/priority handling*): Esta entidad gestiona los recursos del HS-DSCH entre la entidad HARQ y el flujo de datos, de acuerdo a la clase de prioridad, basado en el informe de estado que proporciona el canal de señalización asociado al UL, el cual indica el estado del canal radio en cada instante. El planificador (*scheduler*) determina cada nueva transmisión o una retransmisión HARQ, además establece el identificador de clase de prioridad o identificador de cola y el Número de Secuencia de Transmisión (TSN, *Transmission Sequence Number*) en cada nuevo bloque de datos. Estos parámetros se asignan dentro del encabezado del MAC-hs para cada identificador de cola. El TSN se pone en cero para el primer bloque de datos transmitido dentro del HS-DSCH y se incrementa en uno por cada nuevo bloque transmitido. El planificador establece una versión de redundancia adecuada para cada bloque de datos a transmitir o retransmitir e indica este parámetro al nivel inferior.
3. Entidad HARQ: Soporta múltiples instancias SaW del Protocolo HARQ, o procesos HARQ, con solo un proceso HARQ activo por TTI. La entidad HARQ determina el proceso HARQ

por cada bloque de datos recibido y establece el identificador correspondiente al proceso HARQ.

4. Selección TFRC: Consiste en la selección del formato adecuado de transporte para los datos a transmitir en el canal HS-DSCH. Esta selección se realiza con base en la información aportada por el canal de señalización en el enlace de subida.

En la figura 1.13 se muestra la estructura MAC-hs de la arquitectura MAC en el lado UE, donde se observan cuatro entidades lógicas diferentes en el DL.

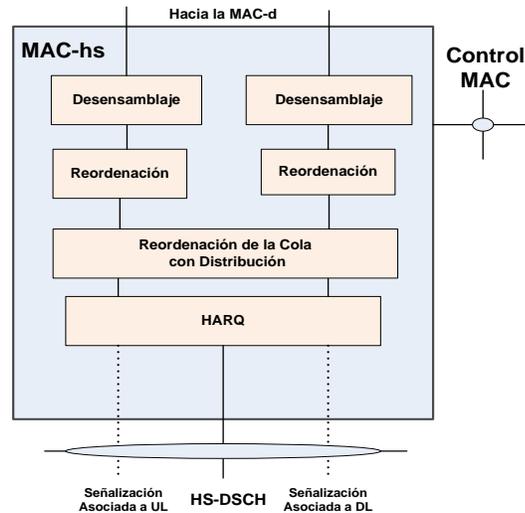


Figura 1. 13. Estructura MAC-hs del lado UE [12] [13].

Las funciones de las entidades MAC-hs en el lado de la UE son [12] [13]:

1. HARQ: Soporta múltiples solicitudes de SaW del protocolo HARQ o procesos HARQ, con solo un proceso HARQ permitido por TTI. Esta entidad además es la encargada de generar los ACKs y NACKs.
2. Reordenación de la cola con función de distribución: Dirige la Unidad de Datos del Protocolo(PDU, *Protocol Data Unit*) del MAC-hs al *buffer* en un orden correcto basado en la identificación de la cola y la identificación de la clase de prioridad.
3. Reordenación por clase de prioridad: Organiza los bloques de datos recibidos de acuerdo al TSN recibido. Los bloques de datos con TSN's consecutivos se entregan a los niveles superiores después de la recepción, mientras que un mecanismo con temporización determina la entrega a los niveles superiores de bloques de datos no consecutivos.
4. Desensamblaje: Para cada PDU del MAC-hs, elimina el encabezado del MAC-hs, extrae la PDU del MAC-d, elimina los bits de relleno, y entrega la PDU del MAC-d a los niveles superiores.

1.5 Codificación y Modulación Adaptativa

En sistemas móviles celulares la señal recibida por un UE es afectada por interferencia, desvanecimiento lento (sombra) y desvanecimiento rápido (multitrayectoria). Estas características son variables e impredecibles en el tiempo. Para mejorar la calidad de la señal y en general mejorar la velocidad de transmisión de datos y cobertura son utilizadas las técnicas de adaptación de enlace. HSDPA utiliza como técnica de adaptación al canal radio, AMC. En esta técnica la potencia de transmisión se mantiene constante y a los usuarios con condición de canal favorable se les asigna una modulación 16QAM y alta tasa de codificación. A los usuarios con un canal radio desfavorable se les asigna modulación QPSK y codificación robusta (tasa de codificación baja), todo esto soportado por el CQI y un planificador rápido [12].

El canal HS-DSCH usa AMC, y el formato de transporte es seleccionado según la calidad del canal en el DL, selección realizada por el subnivel MAC-hs localizado en el Nodo B. El formato de transporte seleccionado para el canal HS-DSCH depende de la categoría del UE, es decir del número de códigos de canalización que el UE puede soportar. El número de códigos para una categoría de UE está dado por 5, 10 o 15 códigos de canalización, además los UE's deben soportar modulación QPSK y 16QAM. El formato de transporte está definido por:

- ✓ El tamaño de la palabra del codificador turbo, dada por el TBS el cual va desde 137 a 7168 para UE's que soportan hasta 5 códigos, entre 137 a 14411 para UE's que soportan hasta 10 códigos y entre 137 a 25558 para UE's que soportan hasta 15 códigos.
- ✓ Esquema de modulación, el cual puede ser QPSK o 16QAM.

La calidad del canal es estimada sobre la Relación Señal a Interferencia (SIR, *Signal to Interference Ratio*) y representada por el valor de CQI que varía entre 0 y 30, el cual indica el formato de transporte que el UE puede recibir dada las condiciones actuales del canal radio. La tabla 1.1 muestra los posibles valores de CQI y los parámetros que definen el formato de transporte en un HS-DSCH, a los que se encuentra relacionado un UE hasta con 5 códigos de canalización (categorías del 1 a 6). Específicamente el valor del CQI identifica el formato de transporte que puede soportar una transmisión simple con una Tasa de Error de Bloque (BLER, *Block Error Rate*) no mayor al 10% [12].

El reporte del CQI se basa en la estimación de la SIR para el Canal Piloto Común (CPICH, *Common Pilot Channel*), esta estimación se encuentra relacionada con la interferencia de otras celdas, nivel de ruido etc. Así el valor del CQI está directamente relacionado por la potencia recibida en el HS-PDSCH. En la ecuación 1.5 se muestra la forma en la cual se determina la potencia en el canal HS-PDSCH [14].

$$P_{HS-PDSCH} = P_{CPICH} + \Gamma + \Delta \quad (1.5)$$

Donde, Γ indica una medida de compensación (*offset*) de potencia, la P_{CPICH} indica la potencia recibida en el canal CPICH y Δ indica el factor de reducción de la potencia del HS-DPSCH.

VALOR CQI	TBS	NÚMERO DE CÓDIGOS	MODULACIÓN	REAJUSTE DE POTENCIA Δ
0	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA
1	137	1	QPSK	0
2	173	1	QPSK	0
3	233	1	QPSK	0
4	317	1	QPSK	0
5	377	1	QPSK	0
6	461	1	QPSK	0
7	650	2	QPSK	0
8	792	2	QPSK	0
9	931	2	QPSK	0
10	1262	3	QPSK	0
11	1483	3	QPSK	0
12	1742	3	QPSK	0
13	2279	4	QPSK	0
14	2583	4	QPSK	0
15	3319	5	QPSK	0
16	3565	5	16-QAM	0
17	4189	5	16-QAM	0
18	4664	5	16-QAM	0
19	5287	5	16-QAM	0
20	5887	5	16-QAM	0
21	6554	5	16-QAM	0
22	7168	5	16-QAM	0
23	7168	5	16-QAM	-1
24	7168	5	16-QAM	-2
25	7168	5	16-QAM	-3
26	7168	5	16-QAM	-4
27	7168	5	16-QAM	-5
28	7168	5	16-QAM	-6
29	7168	5	16-QAM	-7
30	7168	5	16-QAM	-8

Tabla 1. 1. CQI y parámetros del formato de transporte en un HS-DSCH con 5 códigos de UE, categorías de 1 a 6 [1] [14].

Un reporte del CQI igual a 0 significa que el UE está fuera de rango y por lo tanto no se puede brindar la comunicación.

Para los terminales que pueden recibir 5 y 10 códigos de manera paralela, la máxima velocidad de transmisión de datos que soporta el formato de transporte está dada con un CQI igual a 22 y CQI igual a 25 respectivamente. Cuando se tiene un CQI con valor mayor a 22 o 25, se envía en el CQI un factor de reducción de potencia " Δ " para el canal HS-DPSCH, el cual indica que el UE es capaz de recibir una velocidad de transmisión de datos más alta con un nivel de potencia menor, particularmente reducido por Δ con respecto a la potencia recibida al TTI recibido anteriormente en el HS-PDSCH. Los valores del parámetro Δ van desde -8 dB hasta -1 dB para 5 códigos y desde -5 dB hasta -1 dB para 10 códigos [12].

Para retransmisiones HARQ, el bloque de transporte es el mismo que el de la transmisión inicial, sin embargo, el esquema de modulación puede cambiar de la transmisión inicial a las siguientes retransmisiones. Para la codificación de canal, cada retransmisión HARQ puede usar una versión de redundancia diferente, donde cada versión es un subconjunto de los bits codificados y cada subconjunto puede tener un número diferente de bits.

El éxito de la técnica de AMC depende de la calidad de la información dada por el CQI. Esta información es punto clave en el momento de adaptar características que mejoran la transmisión de datos y una de las debilidades es el retardo en la realimentación del CQI. Una de las técnicas para solucionar este inconveniente es la técnica de predicción de la calidad del canal en el DL. Esta técnica permite predecir el estado del canal en el DL por medio de bajas frecuencias *Doppler*, dado que la correlación para estas frecuencias es alta en un periodo de tiempo muy grande [12].

1.6 HARQ

Aunque la AMC ofrece flexibilidad para adaptar las características de transmisión a las condiciones del canal radio promedio de cada UE con el Esquema de Codificación y Modulación (MCS, *Modulation and Coding Scheme*), el sistema está expuesto a errores de transmisión, además esta técnica es sensible a los errores de medición y a retardos en la llegada de la información proveniente del UE, por lo cual se implementa la técnica de detección y corrección de errores HARQ, esta técnica es el resultado de combinar la Corrección de Errores hacia Adelante (FEC, *Forward Error Correction*) y ARQ, la cual utiliza los bloques de datos con errores para decodificar las retransmisiones del mismo bloque.

El mecanismo SaW es la forma más sencilla de técnica de control de flujo ARQ, requiriendo mínima información de señalización, sin embargo, dada su naturaleza de esperar una respuesta antes de volver a transmitir, es muy poco eficiente, dado que durante el tiempo de espera del ACK el canal no es utilizado y se desaprovecha la capacidad del sistema. Una solución para este problema es ejecutar una instancia independiente de la técnica de SaW cuando se esté esperando la respuesta del receptor. Una generalización de este enfoque está dada por el uso del canal N SaW, donde N SaW ARQ opera procesos que funcionan en paralelo, denominados procesos HARQ, los cuales se envían bloque de datos y en el mismo tiempo se están recibiendo ACK/NACK de otros bloques transmitidos anteriormente, esta técnica se la denomina Repetición Selectiva (SR, *Selective Repeat*), los bloques de datos hasta que se complete la ventana de transmisión definida. Si durante esta ventana el transmisor recibe un NACK, el bloque de datos errado se retransmite en la próxima ventana de transmisión, tal como se muestra en la figura 1.14. Las primera transmisión se almacena en el nodo B, así se tiene la información lista para cualquier solicitud de retransmisión, el uso de memorias de almacenamiento se utiliza tanto en el transmisor (nodo B) como en el UE para darle soporte a la técnica HARQ

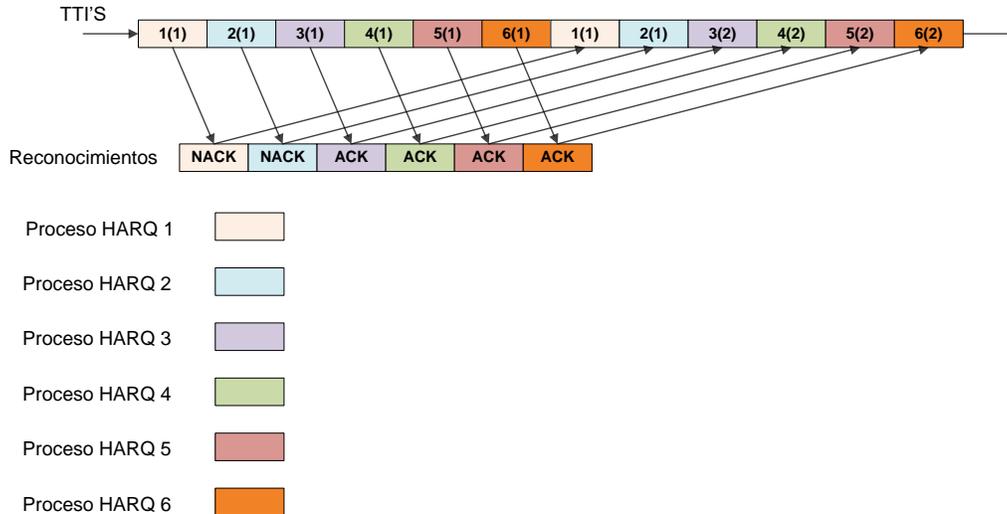


Figura 1. 14. Esquema de retransmisión en los procesos HARQ [21].

Con HARQ se envía un NACK por proceso para solicitar la retransmisión de un paquete de datos decodificado erróneamente, por otra parte las múltiples transmisiones HARQ implican la introducción de retardos, por esto la utilización de HARQ define un máximo de retransmisiones para los casos en los que no se puede realizar una decodificación exitosa. A continuación se describen las técnicas que puede utilizar HARQ al momento de realizar retransmisiones en HSDPA, estas son [12] [15]:

- ✓ HARQ de tipo CC: en este tipo cada retransmisión lleva exactamente la misma información que la transmisión inicial y el receptor combina las distintas recepciones del mismo bloque.
- ✓ HARQ de tipo IR: con este tipo se transmite la misma información en cada retransmisión con bits adicionales que facilitan la decodificación. La idea es que en cada retransmisión se envíe nueva información de codificación, la cual se agrega a la información que ya posee el decodificador.

En las retransmisiones SR se aumenta el tamaño de la ventana deslizante, lo cual se traduce en mayores requerimientos de memoria en el UE. El funcionamiento del algoritmo N SaW impone una restricción de tiempo en el máximo retardo de retransmisión. En el caso de N SaW procesos HARQ, para evitar una pérdida del paquete de datos después de una transmisión HS-PDSCH, el Nodo B debe estar preparado para realizar una posible retransmisión en un plazo máximo de (N-1) TTI.

El número máximo de procesos HARQ es configurado por los niveles superiores. El espacio de memoria en el UE depende de la técnica que use (CC o IR) y de las características de cada UE. Esta memoria se denomina *buffer*⁸ virtual, y se encuentra tanto en el Nodo B como en el UE. Las características claves para HARQ de las categorías de UE's se muestran en la tabla 1.2.

⁸ *Buffer*: Memoria en un dispositivo electrónico, reservada para el almacenamiento temporal de datos.

UE	Máximo número de códigos paralelos en el HS-DSCH	Mínimo intervalo entre TTI por proceso HARQ	Esquema HARQ CC/IR	Máximo número de bits en el canal de transporte HS-DSCH en un TTI
Categoría 1	5	3	CC	19200
Categoría 2	5	3	IR	28800
Categoría 3	5	2	CC	28800
Categoría 4	5	2	IR	38400
Categoría 5	5	1	CC	57600
Categoría 6	5	1	IR	67200
Categoría 7	10	1	CC	115200
Categoría 8	10	1	IR	134400
Categoría 9	15	1	CC	172800
Categoría 10	15	1	IR	172800
Categoría 11	5	2	CC	14400
Categoría 12	5	1	CC	28800

Tabla 1. 2. Clasificación de las capacidades de los UE's- HSDPA para HARQ [3] [12].

La señalización en el DL para HARQ (realizado en el HS-SCCH), incluye un identificador del proceso HARQ (3 bits), un NDI (1 bit) que se incrementa con cada nuevo bloque de datos, e información acerca de la versión de redundancia HARQ para el soporte de la transmisión con IR en el HS-DSCH (6 bits), tal como se mostró en la figura 1.7.

Para cada nuevo bloque de datos (la PDU del MAC-hs) que se transmite a un determinado UE, el planificador del MAC-hs indica la versión de redundancia, mientras que el identificador del proceso HARQ es fijado por la entidad HARQ correspondiente al UE específico, y el NDI es fijado por el proceso HARQ. El NDI es fijado en 0 (cero) para la primera PDU del MAC-hs transmitida por un proceso HARQ, y se incrementa en 1 por cada PDU del MAC-hs siguiente que contenga nuevos datos.

En el UE, la entidad HARQ asigna cada PDU del MAC-hs recibida por el proceso HARQ correspondiente, indicado por el identificador del proceso, si el NDI se incrementa, el proceso HARQ reemplaza los datos en la memoria suave (*soft buffer*) HARQ, con los datos recibidos, ahora si el NDI no se ha incrementado, el proceso HARQ combina los datos recibidos con los datos que se encuentran en la memoria suave (*soft buffer*). El proceso HARQ genera un ACK positivo/negativo, en función de la decodificación exitosa de los bloques de datos según la CRC en el HS-DSCH, si los bloques de datos son decodificados exitosamente se genera un ACK, de lo contrario genera un NACK, finalmente, cuando la decodificación es exitosa, la PDU del MAC-hs es enviada a la entidad de reordenación, la cual actúa basada en el identificador de cola de la PDU [12].

La señalización asociada al UL consiste de 1 bit de acuse de recibo HARQ positivo/negativo (HARQ-ACK/NACK) y 5 bits que definen la calidad del canal (CQI). En el Nodo B, la información de señalización del UL, es procesada por el proceso de HARQ en el MAC-hs y entregada al planificador en el MAC-hs.

En la figura 1.15 se observan los bloques funcionales de HARQ de nivel físico en el codificador HS-DSCH.

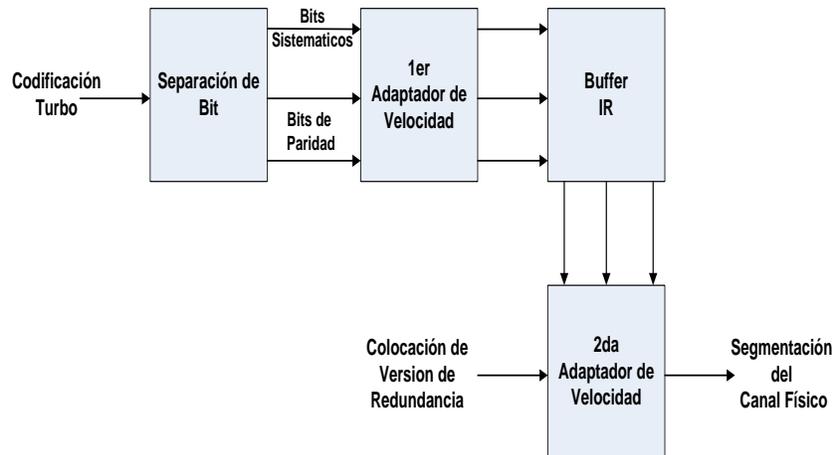


Figura 1. 15. Bloques funcionales de HARQ [3].

La funcionalidad de HARQ se desarrolla a través de dos etapas de adaptación de velocidad (*rate matching*⁹). El *buffer* IR denominado también *buffer* virtual, está entre estas dos etapas, y realiza la relación de los proceso de adaptación de velocidad, entre el tamaño de los datos de salida del codificador turbo y el *buffer*. Si el tamaño de los datos es más pequeño que el tamaño del *buffer*, entonces el primer adaptador de velocidad es transparente, pero en caso contrario, se insertan los datos hasta igualar el tamaño del *buffer*. En el segundo adaptador de velocidad se adapta la cantidad de bits al tamaño de los canales físicos, y los bits sobrantes son almacenados en la memoria y utilizados para la IR o CC según sea el caso [16].

1.7 PLANIFICACIÓN RÁPIDA DE PAQUETES

Para lograr un mejor desempeño de la red, la tecnología HSDPA implementó el FPS el cual se desempeña sobre el HS-DSCH.

El objetivo de la tecnología HSDPA es proporcionar diferentes servicios al usuario como voz, datos, Servicio de Mensajes Cortos (SMS, *Short Message Service*), video llamadas entre otros, los cuales requieren diferente Calidad de Servicio (QoS, *Quality of Service*). La QoS se define de acuerdo a las características de la aplicación. En una comunicación en tiempo real los retardos de los bloques de datos deben mantenerse por debajo de un umbral determinado. Un usuario que está enviando un SMS tiene menor prioridad en QoS que uno con una llamada de voz activa, esto debido a que la llamada se hace en tiempo real, contrario a lo que sucede con el SMS. UMTS define cuatro clases de QoS (o clases de tráfico). La clasificación se basa en la sensibilidad al retardo del tráfico y se ilustra en la tabla 1.3 [12].

⁹ *Rate matching*: Realiza la concordancia de datos, para la transmisión en los canales físicos.

CLASES DE SERVICIOS	NATURALEZA	CARACTERISTICAS BASICAS	EJEMPLOS DE APLICACIÓN
CONVERSACIONAL	Servicios en tiempo real	Muy sensible al retardo.	Voz, videoteléfono, voz sobre IP.
STREAMING	Servicios en tiempo real	Sensible al retardo.	Flujo continuo de video o audio.
INTERACTIVA	Servicios en tiempo no real	No es sensible al retardo y alta tolerancia frente a errores.	Navegación en internet.
BASICA (Mejor esfuerzo, <i>Best effort</i>)	Servicios en tiempo no real	No es necesaria la interacción, preserva el contenido de los datos.	Correo electrónico, descarga de datos. (Servicio de Mensajería Multimedia (MMS, <i>Multimedia Messaging Service</i>), SMS.

Tabla 1.3. Clases de calidad de servicio en HSDPA [12].

Los servicios de voz y video llamada son caracterizados como flujos de tráfico en tiempo real, en los cuales la conversación es más sensible al retardo. Las clases interactiva y básica incluyen las aplicaciones de Internet, las cuales toleran un mayor retardo.

El planificador se encarga de gestionar las colas de prioridad de acuerdo a las clases de servicio, además distribuye las PDU's del MAC-d contenidas en el flujo MAC-d en medio de las diferentes colas de prioridad y determina cual debe ser programada en una nueva transmisión o en una retransmisión HARQ. El esquema del flujo de datos manejado por el planificado se muestra en la figura 1.16.

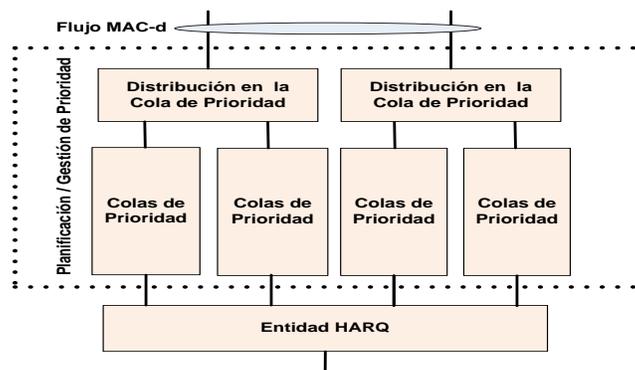


Figura 1. 16. Esquema de flujo de datos manejado por el planificador [12].

El planificador utiliza un algoritmo que se basa en la medición de la máxima relación C/I, con este algoritmo el planificador intenta tomar ventaja de las variaciones en las condiciones del canal radio, para diferentes UE's, y elige al UE que experimente las mejores condiciones de canal, es decir que tenga la máxima relación C/I, cuando el UE tiene la máxima relación C/I, el planificador aumenta efectivamente la velocidad de transmisión de datos al máximo *throughput*¹⁰ del sistema [12].

¹⁰ *Throughput*: Volumen de información de usuario (datos) que fluye a través de una red o un sistema de información.

CAPÍTULO 2

RED DE ACCESO RADIO HSDPA

Las tecnologías celulares han evolucionado a través del tiempo, desde sus inicios en 1G, pasando por la digitalización en 2G y acceso limitado a datos con la voz como servicio principal en la generación 2.5G, hasta los momentos actuales con mayores velocidades de transmisión de datos en redes 3G, 3.5G y 4G. En todas estas generaciones la red de acceso radio juega un papel muy importante. En HSDPA al igual que en WCDMA (UMTS) esta se denomina Red de Acceso Radio Terrestre UMTS (UTRAN, *UMTS Terrestrial Radio Access Network*), las transiciones de una tecnología a otra requieren de investigación y análisis de las características ofrecidas por la red de acceso radio, para que su despliegue y posterior funcionamiento sean exitosos. En la migración de una generación a otra se ha recurrido al cambio de *hardware*, en otras como la transición de 3G a 3.5G es suficiente con una actualización *software* y en algunas ocasiones cambios tanto *hardware* como *software*.

La UTRAN permite a los UE acceder al CN de WCDMA (UMTS). La UTRAN presenta grandes retos tecnológicos, debido a que el medio de transmisión de naturaleza inalámbrica se encuentra expuesto a perturbaciones, lo cual obliga a que se implementen métodos y procedimientos adecuados para mantener la integridad de la comunicación.

2.1 Impacto De HSDPA Sobre La Arquitectura De La Red De Acceso Radio Terrestre UMTS (UTRAN)

La arquitectura de red de HSDPA (R5) se basa en la arquitectura e infraestructura física de WCDMA (UMTS) especificada en el R99. Para los operadores la incorporación de la tecnología 3.5G es casi una obligación ya que los nuevos servicios requieren altas velocidades de transmisión de datos y por otra parte se incorporan nuevos usuarios debido a la prestación del servicio de valor agregado de internet móvil.

Los cambios en la red son fundamentalmente actualizaciones software, los cuales se llevan a cabo desde el Centro de Operación y Mantenimiento (OMC, *Operation and Maintenance Center*), el cual controla la configuración hardware y software de los nodos B y de los RNC's, además monitorea el funcionamiento de la red y permite que operadores humanos intervengan cuando sea necesario. El OMC suele estar formado por un conjunto de computadores que distribuyen la carga de trabajo entre varias maquinas y evitan que el fallo de una de ellas deshabilite la operación del OMC. La figura 2.1 muestra la red UTRAN y el OMC.

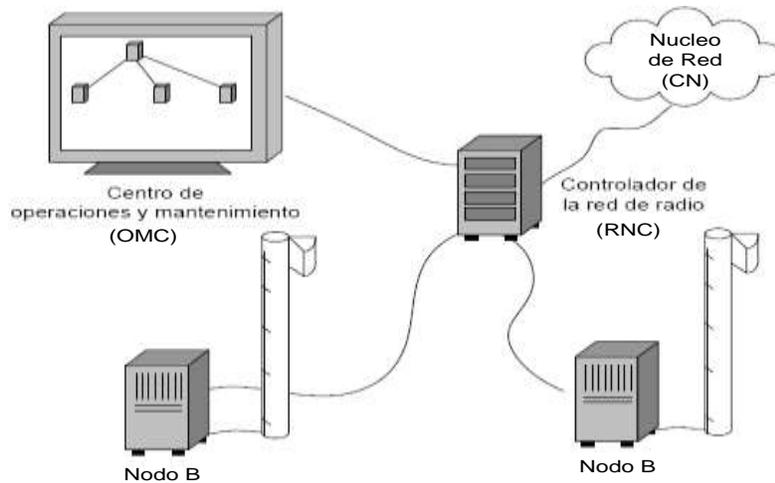


Figura 2. 1. Red UTRAN con el OMC [31].

Estas actualizaciones tienen como objetivo el subnivel MAC e implican la adición de funciones de procesamiento lógico tanto en el Nodo B como en el UE, las cuales permiten lograr mayores velocidades de transmisión de datos y reducir los tiempos de respuesta y de procesamiento de la información. En la figura 2.2 se muestra el procesamiento lógico en el Nodo B y en la figura 2.3 el procesamiento lógico en el UE. El procesamiento de la información es complejo debido a que se debe almacenar cada bloque de transporte recibido en el UE para efectuar la decodificación HARQ con cualquiera de las técnicas de retransmisión CC o IR. Por otra parte el Nodo B también almacena la información por cada proceso HARQ enviado con el fin de tener soporte para las retransmisiones solicitadas, esto se logra utilizando *buffers* de almacenamiento, lo que implica mayor uso de recursos electrónicos en los dispositivos [10].

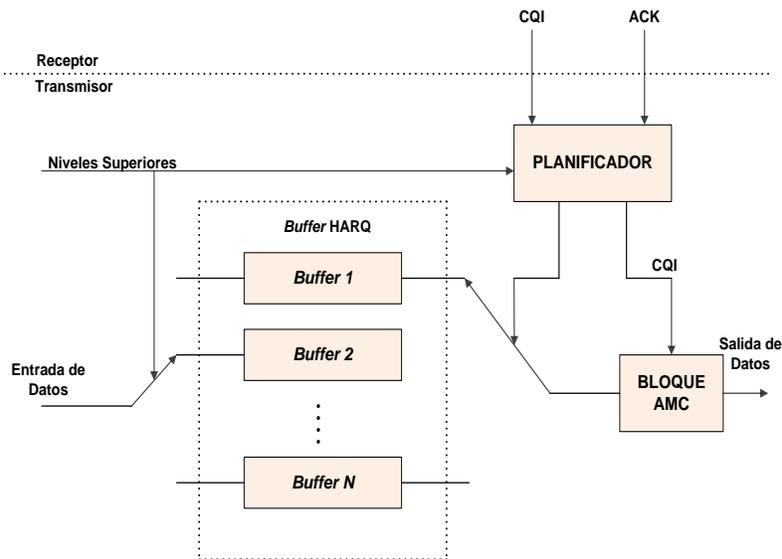


Figura 2. 2. Procesamiento lógico de la información en el Nodo B [10].

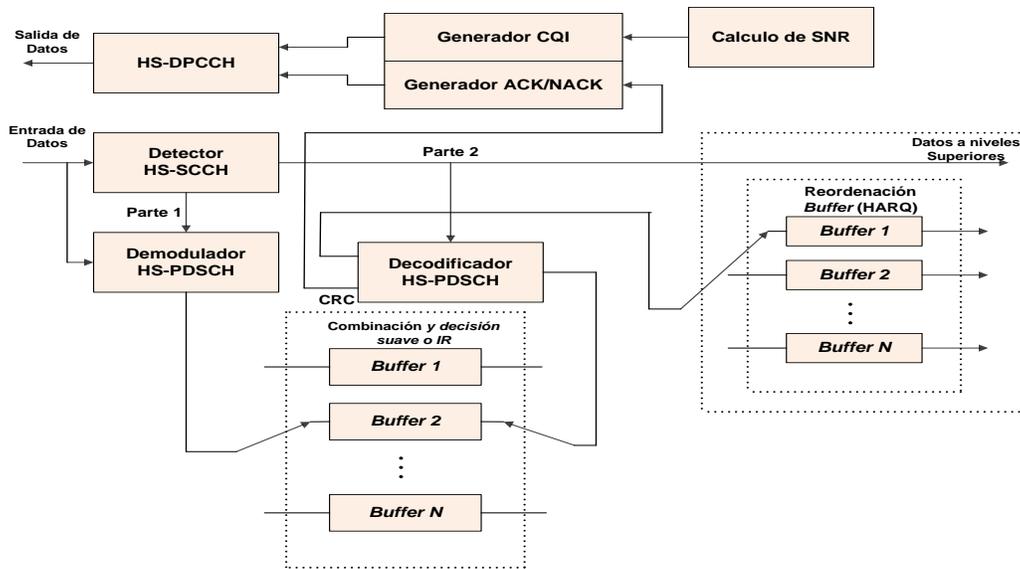


Figura 2. 3. Procesamiento lógico de la información en el UE [10].

Con la entidad MAC-hs se logra una mayor eficiencia en la transmisión de los datos, ya que desde el Nodo B se efectúan las retransmisiones, logrando así reducir tiempos de procesamiento y respuesta de la información. En la figura 2.4 se describe la secuencia de una retransmisión, realizada por la tecnología WCDMA (R99) y por HSDPA (R5), lo que se conoce como control de flujo de datos. En la R99 se envía un paquete de datos desde el RNC al Nodo B y de ahí al UE, el UE envía una solicitud de retransmisión (paquete decodificado sin éxito por el UE) a través del NACK hasta el RNC, el RNC recibe la solicitud de retransmisión y envía al Nodo B el paquete de datos anteriormente transmitido para que este nuevamente lo envíe al UE. En la R5 el envío del paquete sigue los mismos pasos que en la R99, el cambio se da en la solicitud de retransmisión (NACK), este ya no llega hasta la RNC sino que va hasta el Nodo B, el cual se encarga de realizar la retransmisión de los paquetes de información que no fueron decodificados con éxito por el UE [7].

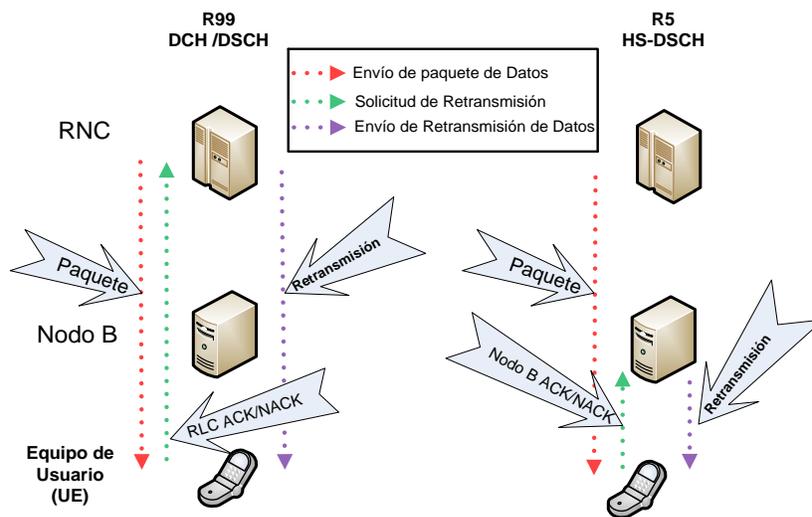


Figura 2. 4. Diferencias en el manejo de retransmisiones en la R99 y R5 [7].

Con la incorporación en la red de la tecnología HSDPA, la interfaz Iub, la cual se ubica entre el Nodo B y el RNC tal como lo muestra la figura 1.2, requiere un mecanismo para gestionar el flujo de información, esto con el fin de que los *buffers* no se desborden, lo que ocasionaría pérdida de datos. El RNC administra la UTRAN, y es responsable de controlar los nodos B que están conectados a él. Además el RNC, en el nivel 2 posee un subnivel llamado Control de Enlace Radio (RLC, *Radio Link Control*), tal como lo muestra la figura 1.3, el cual se encarga de recuperar los errores y controlar el flujo de datos del sistema celular. Además el RLC proporciona un servicio de enlace radio entre el UE y el CN.

La entidad MAC-hs en el subnivel MAC, es la encargada de las funciones de retransmisión automática, planificación de paquetes y la gestión del Formato de Transporte y Combinación de Recursos (TFRC, *Transport Format And Resource Combinations*).

2.2 Procedimiento HSDPA En El Nivel Físico

En primera instancia, el planificador se encuentra activo en el Nodo B, el cual es el encargado de configurar los parámetros para mantener una conexión eficiente entre el Nodo B y el UE, para lo cual se evalúan aspectos y características que se mencionan a continuación:

- ✓ Capacidad del UE.
- ✓ Recursos disponibles.
- ✓ Cantidad de datos pendientes en el *Buffer*.
- ✓ Usuarios con retransmisión pendiente.
- ✓ Prioridad y QoS.
- ✓ Retroalimentación CQI.

Las anteriores características se gestionan constantemente gracias al planificador, el cual ayuda a que se brinde una comunicación de calidad para el usuario.

2.2.1 Secuencia De Operación En El Nivel Físico De HSDPA Durante Una Comunicación

El nivel físico de HSDPA opera según los siguientes pasos una vez que uno o más usuarios vayan a utilizar el canal HS-DSCH [5].

- 1) El UE solicita una conexión al Nodo B, este último prepara y envía al UE información de señalización que identifica los parámetros necesarios para la demodulación y decodificación del HS-DSCH. Los parámetros utilizados para la demodulación y decodificación son: el número de códigos de canalización y el tipo de modulación utilizado en la transmisión. Con este procedimiento se logra establecer la comunicación entre el Nodo B y el UE.
- 2) El planificador del Nodo B, evalúa cada 2 ms a los usuarios para los cuales existen datos en el *buffer*. Los siguientes parámetros son evaluados por el planificador: la

condición del canal, el estado del *buffer*, el tiempo en el cual transmitió por última vez y el tiempo de espera de las retransmisiones.

- 3) El Nodo B transmite el HS-SCCH dos ranuras antes del TTI correspondiente al HS-DSCH como lo muestra la figura 2.5.
- 4) Después de decodificar la primera ranura de las tres ranuras correspondientes al HS-SCCH, la cual transporta información del TFRI como se mencionó en la sección 1.3.2, se inicia la decodificación de las dos ranuras restantes, las cuales contienen información relacionada al HARQ y UE mencionados en la sección 1.3.2. Finalizada la decodificación de las tres ranuras, el UE determina el proceso HARQ al que pertenecen los datos y si es necesario combinar los datos nuevos con los ya existentes en el *buffer*.
- 5) Tras la combinación de los datos y la recuperación de la información, se envía un ACK/NACK en el enlace de subida a través de la señalización en el canal HS-DPCCH, 5 milisegundos después de la llegada del HS-DSCH, tal como se explicó en la sección 1.3.3 y se muestra en la figura 2.5. El ACK/NACK es generado por la verificación del CRC. El valor de CQI en el enlace de subida es definido a partir de la potencia recibida en el HS-PDSCH, como se explicó en la sección 1.5.

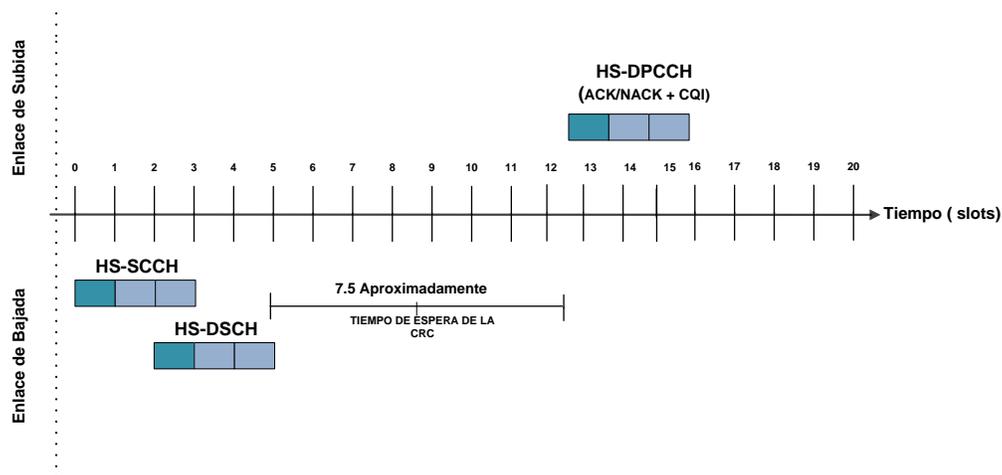


Figura 2. 5. Secuencia de transmisión de los principales canales para HSDPA [7].

Los canales que inicialmente operan entre el Nodo B y el UE son el DPDCH y DPCCH. El primero transporta datos, mientras que el segundo transporta información de control. Estos canales hacen parte del DCH en el DL y UL. Estos canales trabajan en paralelo respecto a los canales de transporte propios de HSDPA [5].

Los canales básicos que actúan tanto en el UL como en el DL en una comunicación con tecnología HSDPA se muestran en la figura 2.6.

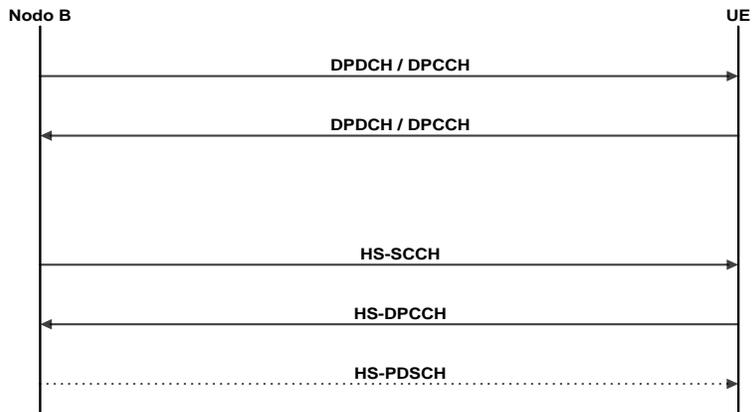


Figura 2. 6. Canales para transmisión de datos de usuario y control en una comunicación HSDPA [10].

2.3 Parámetros De Los UE – HSDPA

HSDPA es una tecnología establecida e implementada en la UTRAN, por lo cual involucra un conjunto de aspectos que se deben tener en cuenta a la hora de analizar sus funciones.

2.3.1 Categorías Y Características De Los UE's

Las 12 categorías establecidas para los UE's (HSDPA) se diferencian en los parámetros que estos pueden soportar. Estos parámetros son: modulación, número máximo de códigos paralelos por HS-DSCH, mínimo intervalo de tiempo entre transmisiones en TTI's (ms), máxima cantidad de bits en el canal de transporte por TTI, esquema HARQ y velocidad de transmisión de datos.

- ✓ Modulación: Las primeras 10 categorías soportan la modulación QPSK y 16 QAM, en tanto que las 11 y 12 sólo soportan QPSK.
- ✓ Máximo número de códigos paralelos: Parámetro relacionado con el máximo número de códigos en paralelo que soporta el UE (5, 10 o 15 códigos en paralelo).
- ✓ Mínimo intervalo de tiempo entre transmisiones: Parámetro relacionado con el tiempo equivalente al número de TTI's que debe esperar el UE entre recepciones. Si el mínimo intervalo de tiempo entre transmisiones es igual a 1 significa que el UE puede recibir bloques de datos de manera continua, si es 2 recibirá bloques de datos con diferencia en tiempo de un TTI entre bloques de datos y si es 3 recibirá bloques de datos con diferencia en tiempo de dos TTI's entre bloques de datos.
- ✓ Máximo número de bits en un TTI: Parámetro relacionado que limita la máxima cantidad de bits en un TTI que es capaz de recibir el UE, traducéndose en el límite de la tasa de codificación.
- ✓ Esquema HARQ: Parámetro relacionado con el tipo de técnica utilizada para la decodificación de los datos en el proceso HARQ. Existen dos tipos de técnicas la cual se diferencian por el tamaño de memoria necesaria en su *buffer* de nivel físico (UE), así los UE's soportan la CC y otros IR, estos últimos utilizan más memoria.

En la Tabla 2.1 se muestran las diferentes categorías de UE y sus respectivos parámetros.

Categoría	Modulación	Máximo Número de Códigos Paralelos	Mínimo intervalo de tiempo entre transmisiones en TTI's (ms)	Máximo número de bits en un TTI	Esquema HARQ	Velocidad de Transmisión de Datos (Mbps)
1	QPSK-16 QAM	5	3 (6)	7298	CC	1.2
2	QPSK-16 QAM	5	3 (6)	7298	IR	1.2
3	QPSK-16 QAM	5	2(4)	7298	CC	1.8
4	QPSK-16 QAM	5	2 (4)	7298	IR	1.8
5	QPSK-16 QAM	5	1 (2)	7298	CC	3.6
6	QPSK-16 QAM	5	1 (2)	7298	IR	3.6
7	QPSK-16 QAM	10	1 (2)	14411	CC	7.2
8	QPSK-16 QAM	10	1 (2)	14411	IR	7.2
9	QPSK-16 QAM	15	1 (2)	20251	CC	10.2
10	QPSK-16 QAM	15	1 (2)	27952	IR	14.4
11	QPSK	5	2 (4)	3630	CC	0.9
12	QPSK	5	1 (2)	3630	CC	1.8

Tabla 2. 1. Parámetros de los UE - HSDPA según la categoría [7] [10].

Las categorías de UE que primero salieron al mercado fueron las 11 y 12, estas alcanzan velocidades pico de transmisión de datos de 0.9 y 1.8 Mbps respectivamente. El UE categoría 10 es el que maneja la máxima velocidad de transmisión de datos (14.4 Mbps) con modulación 16 QAM y transmisión con 15 códigos en paralelo. Esto se puede observar en la tabla 2.1.

2.3.2 Velocidades Teóricas De Transmisión De Datos

Las velocidades de transmisión de datos teóricas para HSDPA son aproximadamente cinco veces mayores en comparación con la R99. En la Tabla 2.2 se muestran las velocidades de transmisión de datos soportadas para diferentes TFRC's. Se observa en la Tabla 2.2 que con el empleo de 15 códigos y una tasa de codificación de 3/4, la máxima velocidad de transmisión de datos teórica es de 5.4 Mbps con modulación QPSK y 10.8 Mbps para 16 QAM.

Con la multiplexación de los usuarios en tiempo y código, las velocidades de transmisión de datos teóricas se pueden lograr con un solo usuario o compartirse entre varios usuarios.

TRFC	Modulación	Tasa de Codificación Efectiva	Velocidades de Transmisión de Datos			
			Con 1 Código	Con 5 Códigos	Con 10 Códigos	Con 15 Códigos
1	QPSK	1/4	120 Kbps	600 Kbps	1.2 Mbps	1.8 Mbps
2	QPSK	2/4	240 Kbps	1.2 Mbps	2.4 Mbps	3.6 Mbps
3	QPSK	3/4	360 Kbps	1.8 Mbps	3.6 Mbps	5.4 Mbps
4	16 QAM	2/4	480 Kbps	2.4 Mbps	4.8 Mbps	7.2 Mbps
5	16 QAM	3/4	720 Kbps	3.6 Mbps	7.2 Mbps	10.8 Mbps
6	16 QAM	4/4	960 Kbps	4.8 Mbps	9.6 Mbps	14.4 Mbps

Tabla 2. 2. Velocidades de transmisión de datos teórica para diferentes TRFC's [7].

2.4 Modelos De Canal De La ITU Para HSDPA

Los modelos de canal de la ITU recomendados por el 3GPP para HSDPA son los siguientes: Peatonal A (PA, *Pedestrian A*), Peatonal B (PB, *Pedestrian B*) y Vehicular A (*Vehicular A*) [16][18].

Estos modelos de canal difieren uno del otro en el número de trayectos que presenta el canal, el retardo relativo y la potencia relativa (atenuación), introducidos en cada trayecto con respecto al trayecto principal entre el Nodo B y el UE. Cada modelo define estos parámetros acorde a la velocidad de desplazamiento del UE.

Los modelos de canal que tienen una velocidad de desplazamiento del móvil alrededor de 3 km/h y un número de trayectos igual a 4 y 6 , se denominan Peatonal A 3 km/h (PA3, *Pedestrian A* 3km/h) y Peatonal B 3 km/h (PB3, *Pedestrian B* 3km/h) respectivamente y los móviles con una velocidad de desplazamiento de 30 km/h y 120 km/h con 6 trayectos se denominan Vehicular A 30 km/h (VA30, *Vehicular A* 30 km/h) y Vehicular A 120 km/h (VA120, *Vehicular A* 120 km/h) respectivamente.

Las características del canal PA3 se ilustran en la tabla 2.3.

Retardo relativo (ns)	0	110	190	410
Potencia relativa (dB)	0.0	-9.7	-19.2	-22.8

Tabla 2. 3. Especificaciones para el modelo de canal PA3 [18].

Las características del canal PB3 se ilustran en la tabla 2.4.

Retardo (ns)	0	200	800	1200	2300	3700
Potencia relativa (dB)	0.0	-0.9	-4.9	-8.0	-7.8	-23.9

Tabla 2. 4. Especificaciones para el modelo de canal PB3 [18].

Los canales VA30 y VA120 son comunes tanto en el número de trayectos como en el retardo relativo introducido por cada trayecto. Estos modelos difieren en la velocidad de desplazamiento del móvil. Las características del canal VA30 y VA120 se ilustran en la tabla 2.5 [16] [18].

Retardo relativo (ns)	0	310	710	1090	1730	2510
Potencia relativa (dB)	0.0	-1.0	-9.0	-10.0	-15.0	-20.0

Tabla 2. 5. Especificaciones para el modelo de canal VA30 y VA120.

El modelo de canal VA120 genera un mayor corrimiento en la frecuencia por efecto *Doppler* debido a una mayor velocidad de desplazamiento del UE.

CAPÍTULO 3

MODELO DE SIMULACIÓN A NIVEL DE ENLACE

Este capítulo describe los aspectos más importantes del modelo de simulación a nivel de enlace para la tecnología HSDPA, en su nivel físico y de enlace de datos especificado en el R5 del 3GPP. El modelo se implementó en la herramienta de simulación SPD (*Signal Processing Designer*) de Coware^{®11} y es el resultado de la adaptación y aplicación de la metodología contenida en el Anexo A de este documento.

La implementación del sistema general se dividió en tres subsistemas y se pueden observar en: transmisor figura 3.1; receptor figura 3.14; y el canal que interconecta transmisor con receptor figura 3.12 bajo los modelos PA3, PB3, VA30 o VA120 según sea el caso de evaluación y análisis. A continuación se describen los subsistemas, con sus componentes, parámetros, variables de entrada y salida. Además, se detalla la señalización del sistema y el procesamiento de la señal de datos de usuario del sistema HSDPA.

Para la implementación del modelo se tomo como base, la arquitectura funcional que estaba implementada en el simulador, la cual estaba compuesta en el transmisor por: la fuente HARQ, el codificador y el transmisor HS-DSCH, en la parte de señalización por el canal HS-SCCH. El canal estaba compuesto básicamente por el modelo de canal PA3. En el lado receptor se tenían los bloques Receptor *Rake*, receptor y decodificador HS-DSCH y el canal de señalización HS-SCCH.

3.1 Subsistema Transmisor

EL subsistema transmisor manipula los datos de usuarios con los siguientes bloques: fuente HARQ (*HARQ Source*), codificación HS-DSCH (*HS-DSCH Encoder*), transmisión HS-DSCH (*HS-DSCH Tx*) y generación de versión de redundancia para HSDPA (*HSDPA Rv Gen*). Para señalización el subsistema cuenta con los siguientes bloques: transmisión HS-SCCH (*HS-SCCH Tx*); Mapeo CQI HS-SCCH (*HS-SCCH CQI Map*), exclusivo para análisis de AMC; Generación de Canales comunes en DL para HSDPA (*HSDPA Channel Generator*); Aleatorización HSDPA (*HSDPA Scrambler*); Retardo Complejo (*Bulk Delay Complex*), el cual genera un retardo de 5120 chips del canal HS-DSCH equivalente a $2/3$ de TTI, con el fin de transmitir la señalización primero que el canal de datos de usuario como se explica en la sección 1.3.2; retardo unitario de muestra (*Unit Delay*) que simula la retroalimentación del CQI.

¹¹ Hoy en día la herramienta de simulación pertenece a Synopsys[®]

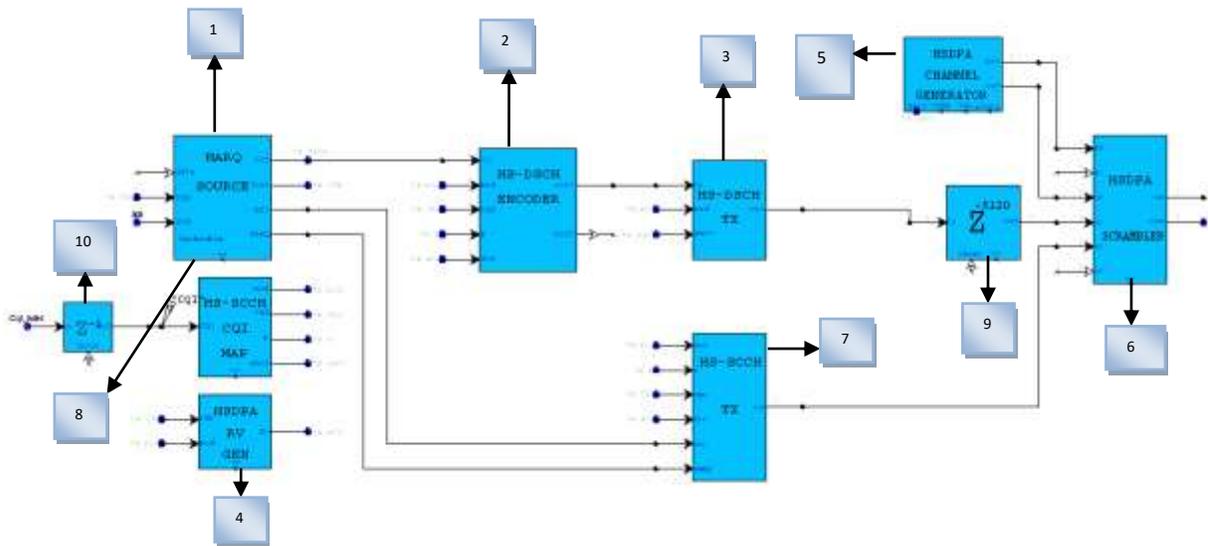


Figura 3. 1. Modelo de Simulación del subsistema transmisor.

La figura 3.1 muestra el modelo que se implementó para simular el subsistema transmisor HSDPA. Los tipos de señales de entrada y salida por cada bloque se muestran en la figura A.19¹². El subsistema transmisor se compone de los siguientes bloques:

1. Fuente HARQ (*HARQ Source*).
2. Codificación HS-DSCH (*HS-DSCH Encoder*).
3. Transmisión HS-DSCH (*HS-DSCH Tx*).
4. Generación de versión de redundancia HSDPA (Gen RV HSDPA).
5. Generación de canales comunes en DL para HSDPA (*HSDPA Channel Generator*).
6. Aleatorización HSDPA (*HSDPA Scrambler*).
7. Transmisión HS-SCCH (*HS-SCCH Tx*).
8. Mapeo CQI HS-SCCH (*HS-SCCH CQI Map*).
9. Retardo complejo (*Bulk Delay Complex*).
10. Retardo unitario (*Unit Delay*).

3.1.1 Fuente HARQ (*HARQ SOURCE*)

Este bloque realiza la función de Solicitud de Retransmisión Automática Híbrida (HARQ), protocolo utilizado por el canal HS-DSCH y el canal de control HS-SCCH. El bloque Fuente HARQ se muestra en la figura 3.2

¹² Se indica que la información se encuentran en el Anexo A de la monografía.

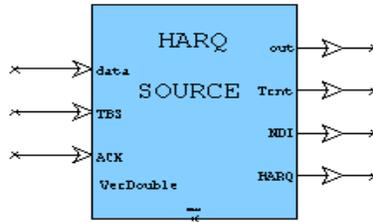


Figura 3. 2. Bloque: Fuente HARQ.

Parámetros:

- ✓ Número de Procesos HARQ (*Number of HARQ Processes*): número de procesos HARQ utilizados en la simulación. En la simulación este parámetro puede tomar valores entre 1 y 8, lo cual especifica el número de procesos que descargan datos en paralelo sobre el UE. En la simulación este parámetro se configura de manera específica con valores iguales a 2, 3 y 6, dependiendo del caso a evaluar, tal como se especificará en el capítulo 4.
- ✓ Patrón de transmisión (*Transmit Pattern*): indica cada cuántos TTI se transmiten datos. Un "X" indica transmisión de usuario y un "0" indica transmisión discontinua (DTX *Discontinuous Transmission*). En un UE categoría 1, "X00" transmite datos de usuario cada 3 TTI's (ver tabla 1.2). En la simulación este parámetro es igual a "X00", "X0" y "X", según sea el caso.
- ✓ TBS por defecto (*TBS default*): número de bits en un TTI. En la simulación se configura estáticamente con un valor igual a 3202 para análisis de HARQ en la categoría 1 según [25] y para un Canal de Referencia Fija (FRC¹³, *Fixed Reference Channel*) o se configura dinámicamente en función del CQI para análisis de AMC y toma cualquiera de los valores mostrados en la tabla 1.1 (segunda columna), en función de la calidad del canal y para un Canal de Referencia Variable (VRC¹⁴, *Variable Reference Channel*).
- ✓ Máximo número de transmisiones (*Maximum number of transmissions*): número máximo de retransmisiones antes de descartar un paquete. En la simulación este parámetro es igual a 4.
- ✓ Retardo ACK/NACK (*ACK/NACK delay*): tiempo en muestras entre la transmisión de un paquete y la llegada del acuse de recibido del mismo. En la simulación este parámetro es igual a 2.

Señales de entrada:

- ✓ Datos (*data*): señal de tráfico de usuario. Esta entrada no es utilizada debido a que la señal binaria que representa es generada internamente de acuerdo al valor del parámetro *TBS*

¹³ FRC: modelo de simulación donde todos los parámetros toman un valor constante en el dominio del tiempo sin importar las variaciones del canal radio, utilizado para analizar HARQ.

¹⁴ VRC: modelo de simulación donde los parámetros son dinámicos en el tiempo, cuyos valores dependen de las variaciones del canal radio, utilizado para analizar AMC.

default en FRC, o dependiendo del valor entregado cada 2 ms proveniente del puerto *TBS* del bloque *HS-SCCH CQI Map* (figura 3.9) para VRC, que a su vez depende del valor del CQI.

- ✓ *TBS (TBS)*: en VRC recibe la señal que contiene el valor del tamaño del bloque de transporte en bits de acuerdo al valor del CQI, proveniente cada 2 ms del puerto *TBS* del bloque *HS-SCCH CQI Map* (figura 3.9). En FRC no se la utiliza esta entrada ya que el *TBS* se lo configura en el parámetro *TBS default*.
- ✓ Reconocimiento (*ACK*): en VRC como en FRC recibe la señal del reconocimiento de la decodificación del bloque de transporte en el receptor proveniente cada 2 ms del puerto *out* del bloque *Bulk Delay* (figura 3.24) con un valor igual a 1 en indica una decodificación sin errores y con un 0 lo contrario.

Señales de salida:

- ✓ Salida de datos (*Out*): señal que VRC como en FRC entrega los datos de usuario en bits los cuales son generados internamente cada 2 ms, para FRC el tamaño del bloque de transporte es configurado en 3202.
- ✓ Contador de transmisiones de proceso HARQ (*Tcnt*): señal que en VRC como en FRC indica el número de retransmisiones que tiene un proceso HARQ dado.
- ✓ Indicador de nuevos datos (*NDI*): señal que en VRC como en FRC indica si el bloque de datos transmitido contiene nuevos bits con una señal alternada de un 1 y un 0 o viceversa si es una retransmisión.
- ✓ Proceso HARQ (*HARQ*): señal que en VRC como en FRC indica el número del proceso HARQ que está transmitiendo datos de usuario. Toma los valores del 0 al 7, y muestra un valor igual a -1 si es una transmisión discontinua (DTX).

3.1.2 Codificación HS-DSCH (HS-DSCH ENCODER)

Este bloque implementa la cadena de codificación mostrada en la figura 1.3 realizada sobre el canal de transporte HS-DSCH. La principal entrada es la información de datos de usuario entregada por el puerto *out* del bloque *HARQ Source*, a la cual se le inserta el CRC, se realiza segmentación del bloque de código para efectuar la codificación turbo. Implementada esta se realiza el procedimiento HARQ de nivel físico explicado en la sección 1.6 y mostrado en la figura 1.13, y por último se ejecuta la segmentación para obtener canales físicos de datos para ser transmitidos por el HS-PDSCH con TTI's de 2 ms. En la figura 3.3 se muestra el bloque que realiza esta función.

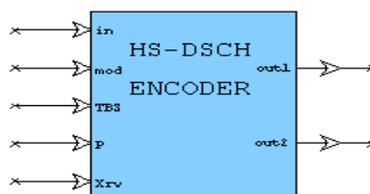


Figura 3. 3. Bloque: Codificador HS-DSCH.

Parámetros:

- ✓ Tamaño del *buffer* IR Virtual (*Virtual IR buffer Size*): tamaño en bits del *buffer* utilizado en el procedimiento HARQ de nivel físico. Su valor depende del máximo número de bits en el canal de transporte HS-DSCH, tal como se indicó en la tabla 1.2 columna 5 sobre el número de procesos HARQ activos.
- ✓ Método de modulación (*Modulation Method*): tipo de modulación a utilizar acorde a las condiciones del canal radio para VRC, entre QPSK señalizada por un 0 y 16QAM señalizada por un 1. En FRC este parámetro es igual a QPSK, según lo explicado en el capítulo 4.
- ✓ Tamaño del bloque de transporte (*Transport Block Size*): número de bits en un TTI. configurado dinámicamente para VRC en función del valor del CQI (tabla 1.1) o estáticamente para FRC con un valor igual a 3202.
- ✓ Canales físicos (*physical channels*): número de canales físicos que transportaran los datos de usuario en un TTI. En la simulación este parámetro es igual a 5 para análisis de FRC o toma valores de manera dinámica de acuerdo al valor del CQI, con base en la tabla 1.1 para VRC.
- ✓ Número de bits del CRC (*Number of CRC Bits*): tamaño en bits del polinomio CRC, su valor es igual a 24 bits y se genera un CRC por TTI.
- ✓ Polinomio CRC (*CRC Polynomial*): polinomio generador del CRC. En la simulación el polinomio es el indicado en la ecuación 3.1

$$x^{24} + x^{23} + x^{18} + x^{17} + x^{14} + x^{11} + x^{10} + x^7 + x^6 + x^5 + x^4 + x^3 + x + 1 \quad (3.1)$$

Señales de entrada:

- ✓ Entrada de datos (*in*): señal que en VRC como en FRC recibe la señal de datos de usuario proveniente del puerto *out* del bloque *HARQ source* (figura 3.2), en FRC este valor es igual a 3202 bits o se lo obtiene dinámicamente para VRC con base en los valores indicados en la tabla 1.2.
- ✓ Tipo de modulación (*mod*): en VRC recibe la señal de información del tipo de modulación a utilizar proveniente del puerto *mod* del bloque *HS-SCCH CQI Map* (figura 3.9), con base en la tabla 1.1 entre QPSK y 16 QAM. Con FRC la modulación se la configura en el parámetro *Modulation Method* con un valor igual a cero, con base en lo que se explicará en el pie de página número uno del capítulo 4.
- ✓ Tamaño del bloque de transporte (*TBS*): en VRC recibe la señal de información del tamaño del bloque de transporte en bits proveniente del puerto *TBS* del bloque *HS-SCCH CQI Map* (figura 3.9) con base en la tabla 1.1, con FRC este valor se lo configura estáticamente en el parámetro *Transport Block Size* con un valor igual a 3202.
- ✓ Número de canales físicos (*p*): en VRC recibe la señal de información del número de canales físicos que se transporta en un TTI de acuerdo al valor del CQI proveniente del

puerto p del bloque *HS-SCCH CQI Map* (figura 3.9) y con base en la tabla 1.1. con FRC este valor se lo configura estáticamente en el parámetro *physical channels*, con un valor igual a 5.

- ✓ Versión de Redundancia (*Xrv*): en VRC como en FRC recibe la señal donde se indica la versión de retransmisión de un bloque de datos de usuario, entregada por el puerto *NDI* del bloque *HARQ Source* (figura 3.2). Indica cuantas veces se va retransmitiendo un bloque específico.

Señales de salida:

- ✓ Salida de datos (*out1*): señal que en VRC como en FRC contiene el tráfico de usuario codificado y es entregada al transmisor HS-DSCH por medio canal físico HS-PDSCH en TTI's de 2 ms para que sea modulada y enviada por el canal radio.

3.1.3 Transmisión HS-DSCH (HS-DSCH TX)

Este bloque prepara y transmite la trama de datos entregada por el puerto *out1* del bloque *HS-DSCH encoder*, la salida es una trama representada en múltiples códigos de canalización con Factor de Ensanchamiento Variable Ortogonal (OVSF, Orthogonal Variable Spreading Factor) con un SF de 16 y modulada en QPSK o 16QAM. En la simulación con el propósito de ahorrar procesamiento de máquina la señal no se modula en radiofrecuencia sino en banda base con modulación de envolvente compleja. En la figura 3.4 se muestra el bloque que realiza esta función.

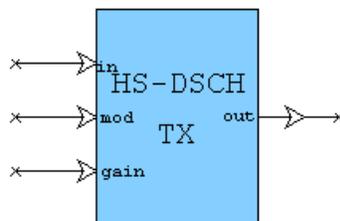


Figura 3. 4. Bloque: Transmisor HS-DSCH.

Parámetros:

- ✓ Factor de ensanchamiento HS-DSCH (*HS-DSCH Spreading factor*): factor de Ensanchamiento para el canal HS-DSCH. En la simulación este parámetro es igual a 16.
- ✓ Primer código de canalización OVFS (First *OVFS Channelization Code*): primer valor para los códigos de canalización a utilizar. En la simulación este parámetro es igual a 2.
- ✓ Potencia nominal del HS-DSCH (*Nominal HS-DSCH Power*): valor de potencia para el canal HS-DSCH, se la define como la potencia transmitida desde el Nodo B para el canal HS-DSCH con respecto a la potencia total disponible en el Nodo B. Toma diferentes valores en la simulación con fines de análisis.
- ✓ Método de modulación (*Modulation Method*): parámetro especificado en la sección 3.1.2.

Señales de entrada:

- ✓ Entrada de señal (*in*): en VRC como en FRC recibe la señal de usuario codificada en múltiples canales físicos HS-PDSCH entregados por la salida *out1* del bloque *HS-DSCH Encoder* mostrado en la figura 3.3.
- ✓ Tipo de modulación (*mod*): definición encontrada en la señal de entrada *mod* del bloque mostrado en la figura 3.3.
- ✓ Ganancia de nominal de potencia (*gain*): que en VRC recibe la señalización de decremento de potencia para el canal HS-DSCH, esta señal es entregada por la salida *gain* del bloque *HS-SCCH CQI Map* (figura 3.9), indicando que debe reducir por factor Δ con respecto a la potencia recibida actualmente tal como se explicó en la sección 1.5, en FRC no se utiliza.

Señal de salida:

- ✓ Salida de datos (*out*): señal que en VRC como en FRC entrega el tráfico de datos de usuario multicódigo ensanchada y modulada en banda base para posteriormente codificarla con el correspondiente código de aleatorización.

3.1.4 Generación De Versión De Redundancia Para HSDPA (HSDPA RV GEN)

Este bloque entrega la información de la versión de redundancia de codificación de canal correspondiente a un bloque de transporte, de acuerdo a esto se entrega la versión correspondiente para el esquema HARQ IR, para CC siempre se retransmiten los mismos datos. Esta es entregada por la salida *Tcnt* del bloque *HSDPA Source*, la versión de redundancia depende del tipo de modulación QPSK o 16QAM. En la figura 3.5 se observa el bloque que realiza esta función.

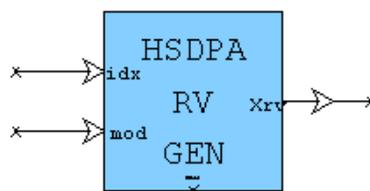


Figura 3. 5. Bloque: Generador de versión de redundancia.

Parámetros:

- ✓ Secuencia de versión de redundancia QPSK (*QPSK Redundancy Version Sequence*): indica el envío de las retransmisiones para QPSK. Se configura con los valores {0, 2, 5, 6} [4] como se muestra en [30].
- ✓ Secuencia de versión de redundancia 16QAM (*16QAM Redundancy Version Sequence*): indica el envío de las retransmisiones para 16QAM. Se configura con los valores {6, 2, 1, 5} [4] como se muestra en [30].

Señales de entrada:

- ✓ Contador de transmisiones (*idx*): en VRC como en FRC recibe señal que indica el número de retransmisiones provenientes por el puerto *tcnt* del bloque *HARQ Source* (figura 3.2), el cual indica las transmisiones y/o retransmisiones del proceso HARQ que se está transmitiendo.
- ✓ Tipo de modulación (*mod*): definición encontrada en la señal de entrada *mod* del bloque mostrado en la figura 3.3.

Señales de salida:

- ✓ Versión de redundancia (*Xrv*): en VRC como en FRC entrega una señal con valor entre 0 y 7 que indica la versión de redundancia [16].

3.1.5 Generación De Canales Comunes En DL Para HSDPA (HSDPA CHANNEL GENERATOR)

Este bloque genera los canales físicos del enlace de bajada necesarios en una simulación de HSDPA, debido a que la tecnología además de los canales de datos y control necesita canales de sincronización, búsqueda y control, también simula el ruido ortogonal que se genera.

Los canales que simula este bloque son: el Canal Físico Dedicado (DPCH, *Dedicated Physical Channel*), Canal Piloto Común (CPICH, *Common Pilot Channel*), Canal Físico Primario de Control Común (PCCPCH, *Primary Common Control Physical Channel*), Canal de Indicación de Voceo (PICH, *Paging Indication Channel*), Canal Primario de Sincronización (PSCH, *Primary Synchronisation Channel*), Canal Secundario de Sincronización (SSCH, *Secondary Synchronization Channel*) y Simulador de Ruido de Canal Ortogonal (OCNS, *Orthogonal Channel Noise Simulator*) su valor es función de la ganancia de potencia nominal. Para análisis de HARQ el bloque no realiza reajuste de ganancia de potencia nominal debido a que los valores son estáticos. Para el análisis de AMC se conecta la entrada de ganancia *gain* con el reajuste de ganancia de potencia nominal de acuerdo al valor entregado por la salida *gain* del bloque *HS-SCCH CQI Map* (figura 3.9). En la figura 3.6 se muestra el bloque que realiza esta función.

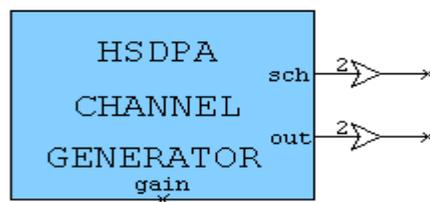


Figura 3. 6.Bloque: Generador de canales comunes en DL para HSDPA.

Parámetros:

- ✓ Factor de ensanchamiento (*spreading factor*): parámetro definido en la sección 3.1.3.

- ✓ Código de aleatorización (*scrambling code*): código utilizado para diferenciar los diferentes sectores o celdas y de esta manera reutilizar los códigos de canalización en cada celda. Este código es utilizado también por el canal SSCH. En la simulación este parámetro se lo configura con un valor igual a 0.
- ✓ Potencia de transmisión DPCH (*DPCH transmit power*): valor de potencia para el canal DPCH, se la define como la potencia transmitida desde el Nodo B para el canal DPCH con respecto a la potencia total disponible en el Nodo B. Toma diferentes valores en la simulación con fines de análisis.
- ✓ Potencia de transmisión del CPICH (*CPICH transmit power*): valor de potencia para el canal CPICH, se la define como la potencia transmitida desde el Nodo B para el canal CPICH con respecto a la potencia total disponible en el Nodo B. Toma diferentes valores en la simulación con fines de análisis.
- ✓ Potencia de transmisión del PCCPCH (*Primary CCPCH transmit power*): valor de potencia para el canal PCCPCH, se la define como la potencia transmitida desde el Nodo B para el canal PCCPCH con respecto a la potencia total disponible en el Nodo B. Toma diferentes valores en la simulación con fines de análisis.
- ✓ Potencia de transmisión del PSCH (*Primary SCH transmit power*): valor de potencia para el canal PSCH, se la define como la potencia transmitida desde el Nodo B para el canal PSCH con respecto a la potencia total disponible en el Nodo B. Toma diferentes valores en la simulación con fines de análisis.
- ✓ Potencia de transmisión del SSCH (*Secondary SCH transmit power*): valor de potencia para el canal SSCH, se la define como la potencia transmitida desde el Nodo B para el canal SSCH con respecto a la potencia total disponible en el Nodo B. Toma diferentes valores en la simulación con fines de análisis.

Señales de entrada:

- ✓ Ganancia de potencia nominal (*gain*): en VRC como en FRC recibe la señal que indica el reajuste de la ganancia de potencia nominal en un factor “ Δ ” proveniente del puerto *gain* del bloque *HS-SCCH CQI Map* (figura 3.9), como se explicó en la sección 1.5. En FRC esta entrada no se la utiliza.

Señales de salida:

- ✓ Canales de sincronización (*sch*): señal que en VRC como en FRC entrega los canales PSCH y SSCH. Esta salida no es codificada con el código de aleatorización para su transmisión.
- ✓ Canales adicionales para HSDPA (*out*): señal que en VRC como en FRC entrega los canales DPCH, CPICH, PCCPCH, PICH, y OCNS. Estos deben ser codificados con el código de aleatorización para su transmisión.

3.1.6 Aleatorización HSDPA (HSDPA SCRAMBLER)

Este bloque fija el código de aleatorización para el flujo de datos de información ensanchada de datos de usuario y señalización. El mismo código es aplicado a las entradas s_0 , s_1 , s_2 ; señal relacionada con los canales comunes en DL para HSDPA, el canal de datos de usuario y el de señalización respectivamente. En la práctica esto se realiza con el fin de diferenciar los diferentes sectores y de esta manera reutilizar los códigos de canalización en cada celda. En la figura 3.7 se muestra el bloque que realiza esta función.

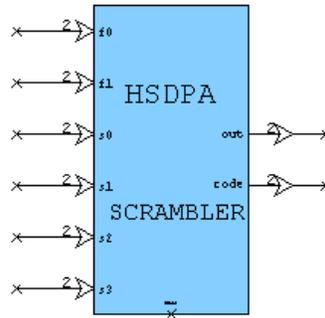


Figura 3. 7. Bloque: Aleatorizador HSDPA.

Parámetros:

- ✓ Sobremuestreo del canal (*channel oversampling*): parámetro que define el número de muestras por chip en el canal. En la simulación este parámetro es igual a 4.
- ✓ Archivo de filtro de transmisión (*transmit filter file*): parámetro que define la ruta del archivo donde se encuentran los coeficientes del filtro de transmisión.
- ✓ Código de Aleatorización (*Scrambler code*): parámetro definido en la sección 3.1.5.

Señales de entrada:

- ✓ Señal de canales de sincronización (f_0): en VRC como en FRC recibe la señal de entrada de los canales primario y secundario de sincronización provenientes de la salida *sch* del bloque *HSDPA Channel generator* (figura 3.6).
- ✓ Canales comunes en DL para HSDPA (*out*): en VRC como en FRC recibe la señal con los canales necesarios para simular HSDPA (DPCH, CPICH, PCCPCH, PICH y OCNS), provenientes de la salida *out* del bloque *HSDPA Channel generator* (figura 3.6).
- ✓ Señal tráfico de usuario (s_1): en VRC como en FRC recibe la señal con información proveniente de la salida *out* del bloque *HS-DSCH Tx* (figura 3.4).
- ✓ Señal de señalización (s_2): en VRC como en FRC recibe la señal de información de control de DL para HSDPA provenientes de la salida *out* del bloque *HS-SCCH Tx* (figura 3.8).

Señales de salida:

- ✓ Salida codificada (*out*): señal que en VRC como en FRC entrega la información aleatorizada para ser transmitida por el canal radio.
- ✓ Código (*code*): señal que en VRC como en FRC entrega el código de aleatorización al receptor, con el fin de que el UE identifique el correspondiente código que es enviado al receptor.

3.1.7 Transmisión HS-SCCH (HS-SCCH TX)

Este bloque implementa la señalización del enlace de bajada para HSDPA. Los valores de entrada son convertidos a campos de información y después de esto las tramas HS-SCCH son codificadas y ensanchadas. En la figura 3.8 se muestra el bloque que realiza esta función.

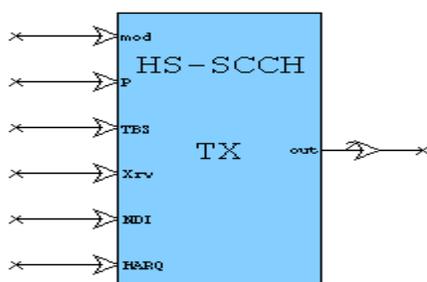


Figura 3. 8. Bloque: Transmisor HS-SCCH.

Parámetros:

- ✓ Identidad del UE (*UE Identity*): número del terminal receptor. En la simulación este parámetro es igual a 100.
- ✓ Potencia HS-SCCH (*HS-SCCH Power*): valor de potencia para el canal HS-SCCH, se la define como la potencia transmitida desde el Nodo B para el canal HS-SCCH con respecto a la potencia total disponible en el Nodo B. Toma diferentes valores en la simulación con fines de análisis.
- ✓ Grupo de código OVSF (*OVSF code group*): parámetro definido en la sección 3.1.3.
- ✓ Factor de ensanchamiento HS-SCCH (*HS-SCCH Spreading factor*): valor de ensanchamiento para el HS-SCCH. En la simulación este parámetro es igual a 128.
- ✓ Método de modulación (*Modulation method*): parámetro especificado en la sección 3.1.2.
- ✓ Canales físicos (*Physical channels*): parámetro especificado en la sección 3.1.2.

- ✓ Tamaño del Bloque de Transporte (*Transport Block Size*): parámetro especificado en la sección 3.1.2.

Señales de entrada:

- ✓ Tipo de modulación (*mod*): definición encontrada en la señal de entrada *mod* del bloque mostrado en la figura 3.3.
- ✓ Tamaño del bloque de transporte (*TBS*): definición encontrada en la señal de entrada *mod* del bloque mostrado en la figura 3.3.
- ✓ Número de canales físicos (*p*): definición encontrada en la señal de entrada *mod* del bloque mostrado en la figura 3.3.
- ✓ Versión de Redundancia (*Xrv*): definición encontrada en la señal de entrada *mod* del bloque mostrado en la figura 3.3.
- ✓ Indicador de Nuevos Datos (*NDI*): definición encontrada en la señal de entrada *idx* del bloque mostrado en la figura 3.5.
- ✓ Número de proceso HARQ (HARQ): en VRC como en FRC recibe la señal proveniente por el puerto HARQ del bloque HARQ *Source* (figura 3.2), indica el número de proceso HARQ que es enviado en el TTI.

Señales de salida:

- ✓ Salida de señalización (*out*): señal que en VRC como en FRC entrega la información de control que es enviada para codificarla con el correspondiente código de aleatorización.

3.1.8 Mapeo CQI HS-SCCH (HS-SCCH CQI MAP)

Este bloque es útil cuando se analiza AMC debido a que es necesario mapear el valor del CQI a los correspondientes valores de: canales físicos, tamaño de bloque de transporte, modulación y ganancia de potencia nominal, el bloque que realiza esta función se muestra en la figura 3.9. Los valores entregados por éste son acordes al archivo de configuración de Valores Separados por Comas (CSV¹⁵, *Comma Separated Value*), el cual es un estándar para almacenar información en formato ASCII, en la simulación se utilizó un archivo para las categorías del 1 al 6.

¹⁵ CSV: tipo de documento en formato abierto sencillo para representar datos en forma de tabla, en las que las columnas se separan por comas y las filas por saltos de línea. Los campos que contengan una coma, un salto de línea o una comilla doble deben ser encerrados entre comillas dobles.

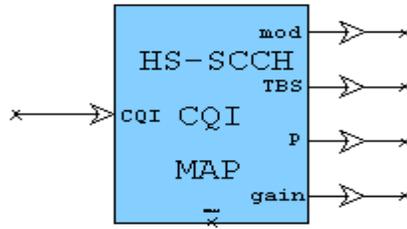


Figura 3. 9. Bloque: mapeo del CQI.

Parámetros:

- ✓ Archivo de mapeo CQI (*CQI mapping table file*): ruta donde se encuentra el archivo donde se relacionan el valor del CQI con los formatos de transporte que se debe utilizar. El archivo se denomina *cqi_cat1-6.csv*, el contenido de éste se indica en la tabla 3.1.

CQI	TBS	P	Mod	Potencia
0	137	1	0	0
1	137	1	0	0
2	173	1	0	0
3	233	1	0	0
4	317	1	0	0
5	377	1	0	0
6	461	1	0	0
7	650	2	0	0
8	792	2	0	0
9	931	2	0	0
10	1262	3	0	0
11	1483	3	0	0
12	1742	3	0	0
13	2279	4	0	0
14	2583	5	0	0
15	3319	5	0	0
16	3565	5	1	0
17	4189	5	1	0
18	4664	5	1	0
19	5287	5	1	0
20	5887	5	1	0

21	6554	5	1	0
22	7168	5	1	0
23	7168	5	1	-1
24	7168	5	1	-2
25	7168	5	1	-3
26	7168	5	1	-4
27	7168	5	1	-5
28	7168	5	1	-6
29	7168	5	1	-7
30	7168	5	1	-8

Tabla 3. 1. Contenido del archivo cqi_cat1-6.csv.

Señales de entrada:

- ✓ Valor de CQI (*CQI*): en VRC recibe una señal que indica el valor del CQI (valor entre 0 y 30) proveniente del puerto *CQI* del bloque *CQI Estimation* (figura 3.25), pasando antes por el bloque *Bulk Delay* (figura 3.11) para simular el retardo del canal.

Señales de salida:

- ✓ Tipo de modulación (*mod*): señal que en VRC indica el tipo de modulación que se va a utilizar en la próxima transmisión. QPSK es señalizada por un 0 y 16 QAM por un 1.
- ✓ Tamaño del bloque de transporte (*TBS*): señal que en VRC indica el valor en bits del bloque de transporte que se va a transmitir en el próximo TTI.
- ✓ Número de canales físicos (*p*): señal que en VRC indica cuantos canales físicos se deben utilizar en la transmisión de datos en el próximo TTI.
- ✓ Reajuste de ganancia (*gain*): señal que en VRC indica el valor del reajuste de potencia en el Nodo B en la próxima transmisión de datos como se explico en la sección 1.5.

3.1.9 Retardo Complejo (*BULK DELAY COMPLEX*)

Este bloque se utiliza para retrasar una señal en el tiempo, útil para poner en fase dos señales que han tenido recorridos o procesamiento diferente y para simular retransmisiones. En la simulación se debe retrasar el canal de datos de usuario de la señalización ya que en la tecnología HSDPA el transmisor tiene separados los canales HS-DSCH y HS-SSCH en 2/3 de TTI para que la señalización llegue antes que el canal de datos de usuario HS-DSCH, con el fin de indicar al receptor como va a hacer la decodificación de éste.

Con base en lo anterior se retarda el canal HS-DSCH 2/3 de TTI antes que el HS-SSCH, lo que equivale a 5120 chips, en la figura 3.10 se muestra el bloque que realiza esta función.

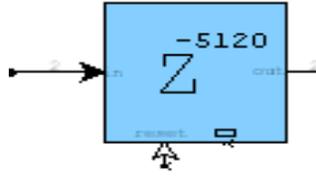


Figura 3. 10. Bloque: Retardo de señal compleja.

Parámetros:

- ✓ Retardo (*del*): retardo en chips de la salida respecto a la entrada. En la simulación este parámetro es igual a 5120.
- ✓ Valor inicial (*Initial value*): valor de salida en el primer retardo. En la simulación este parámetro es igual a 0.

Señal de entrada:

- ✓ Señal compleja (*in*): en VRC como en FRC recibe la señal modulada proveniente del puerto *out* del bloque *HS-DSCH Tx* (figura 3.4).

Señal de salida:

- ✓ Señal compleja retardada (*out*): señal que en VRC como en FRC entrega la información de datos de usuario modulada en banda base proveniente del transmisor HS-DSCH retardada en 5120 chips lo que equivale a 2/3 de TTI.

3.1.10 Retardo Unitario (*BULK DELAY*)

Este bloque retarda la señal de salida un periodo de muestra de simulación respecto a la señal de entrada. Esto se realiza debido a que el retardo que sufre la señal entre la transmisión y la recepción es de una muestra de simulación, por esto el valor de CQI debe pasar por este bloque antes de llegar al transmisor ya la retroalimentación esta referenciada por este valor. En la figura 3.11 se muestra el bloque que realiza esta función.

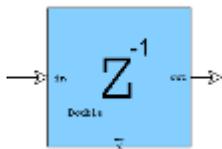


Figura 3. 11. Bloque: Retardo unitario.

Parámetros:

- ✓ Retardo (*del*): retardo en muestras de de la salida respecto a la entrada. En la simulación se configura con un valor entero negativo igual a 1.

- ✓ Valor inicial (*Initial value*): valor de salida en la primera iteración. En la simulación este parámetro es igual a 0.

Señal de entrada:

- ✓ Señal de entrada (*in*): en VRC recibe la señal entregada proveniente del puerto *CQI* del bloque *CQI Estimation* (figura 3.25) para retardarla en un periodo de muestra, con el fin de simular la retroalimentación entre el receptor y el transmisor.

Señal de salida:

- ✓ Señal de salida (*out*): señal que en VRC entrega el valor del CQI retardado un número de muestras igual al valor configurado en el parámetro *del*, simulando el tiempo de retroalimentación.

3.2 Canal

El subsistema canal radio HSDPA ha sido modelado en dos etapas: canal de multitrayectoria y ruido blanco. La señal en su camino hacia el receptor es afectada por multitrayectoria, lo cual significa que el receptor recibe múltiples señales con retardos y valores de potencia diferentes, estos en función del modelo de canal simulado (PA3, PB3, VA30, VA120), además, las señales están afectadas por el ruido en el canal, el cual se modela con el bloque generador de AWGN, ruido que es adicionado a las múltiples señales, para obtener la señal HSDPA que es recibida por un UE.

La figura 3.12 muestra el modelo que se implementó para simular el canal radio, el cual es el medio de interconexión entre el transmisor – receptor. Este se compone por los siguientes bloques:

1. Canal 3GPP (*3GPP Channel*).
2. Ruido Blanco Complejo (*Complex white noise*).
3. Sumador (*Add*).

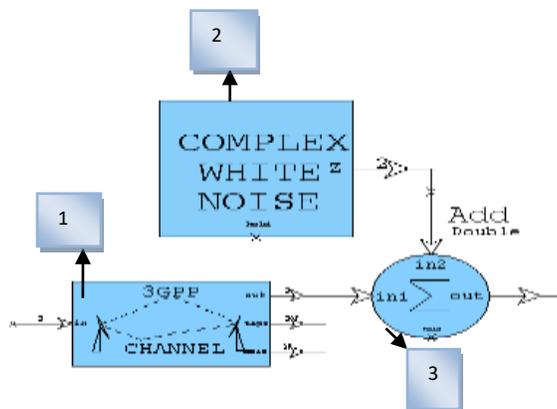


Figura 3. 12. Modelo de Simulación del subsistema canal.

3.2.1 Canal 3GPP (3GPP CHANNEL)

Éste bloque simula los canales definidos por UIT y recomendados por 3GPP para HSDPA. Convierte la señal de entrada en múltiples réplicas con diferentes retardos en el tiempo y atenuaciones de acuerdo al modelo de canal configurado. En la figura 3.13 se muestra el bloque que realiza esta función.



Figura 3. 13. Bloque: Canal 3GPP.

Parámetros:

- ✓ Frecuencia de muestreo (*Sampling frequency*): frecuencia de muestreo del bloque. En la simulación este parámetro es igual a 4.
- ✓ Frecuencia portadora (*Carrier frequency*): frecuencia a la cual la señal es transmitida. En la simulación este parámetro es igual se lo configura en 2000000000 Hz (2000 MHz).
- ✓ Tipo de modelo de canal (*Channel model type*): tipo de modelo de canal a usar, el cual puede ser PA3, PB3, VA30 o VA120.
- ✓ Atenuación del canal (*Channel attenuation*): atenuación total del canal multitrayecto. En la simulación este parámetro es igual a 0 dB.
- ✓ Velocidad del móvil (*Vehicle speed*): velocidad de desplazamiento del UE. Este parámetro depende del modelo de canal a simular y sus valores son: 3 km/h para PA3 y PB3; 30 km/h para VA30 y 120 km/h para VA120.

Señal de entrada:

- ✓ Señal (*in*): en VRC como en FRC recibe la señal de entrada compleja proveniente del puerto *out* del bloque *HSDPA Scrambler* (figura 3.6).

Señales de salida:

- ✓ Salida de señal (*out*): señal que VRC como en FRC entrega la información proveniente del Nodo B afectada por multitrayectoria, atenuación y corrimiento en frecuencia (doppler).
- ✓ Información de atenuación (*taps*): señal que en VRC como en FRC entrega la información de atenuaciones de las señales multitrayecto, hay uno por cada señal replicada.

- ✓ Retardos (*dels*): señal que en VRC como en FRC entrega el valor de los retardos que experimenta la señal en cada uno de los trayectos.

3.2.2 Ruido Blanco Complejo (*COMPLEX WHITE NOISE*)

Este bloque genera ruido blanco *gaussiano* complejo, a partir del valor medio y la varianza de ruido las cuales indican las características de amplitud del ruido en la salida Z, La figura 3.14 se muestra el bloque que realiza esta función.

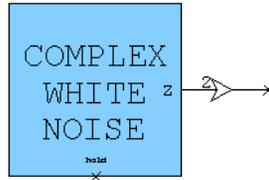


Figura 3. 14. Bloque: Canal de ruido blanco gaussiano complejo.

Parámetros:

- ✓ Potencia (*power*): configura el valor de la potencia de ruido blanco *gaussiano* complejo, el cual será adicionado a la señal en las múltiples trayectorias del canal. Este parámetro depende de los valores de *loc* que se configuren durante la simulación.

Señal de entrada:

- ✓ Ninguna.

Señal de salida:

- ✓ Ruido blanco gaussiano (*k*): señal que en VRC como en FRC entrega el ruido blanco *gaussiano*. Esta señal simula la interferencia de las celdas adyacentes así como de la propia celda de transmisión.

3.2.3 Combinador (*ADD*)

Este bloque combina la señal de AWGN con la señal de información transmitida afectada por multitrayectoria. En la figura 3.15 se muestra el bloque que realiza esta función.

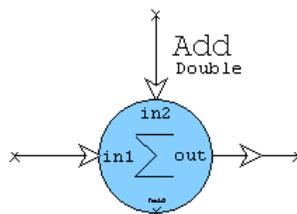


Figura 3. 15. Bloque: combinador de señales.

Parámetros:

- ✓ Ninguno.

Señales de entrada:

- ✓ Entrada 1 (*in1*): en VRC como en FRC recibe señal compleja afectada por multitrayectoria proveniente del puerto *out* del bloque *3GPP Channel* (figura 3.13).
- ✓ Entrada 2 (*in2*): en VRC como en FRC recibe la señal de ruido blanco *gaussiano* proveniente del puerto *z* del bloque *Complex White Noise* (figura 3.14).

Señal de salida:

- ✓ Señal de salida compleja (*out*): señal que en VRC como en FRC entrega la información compleja proveniente del Nodo B afectada por la multitrayectoria y ruido.

3.3 Receptor

El subsistema receptor está compuesto por un conjunto de bloques que hacen posible la recepción HSDPA. Esta inicia con la decodificación del código de aleatorización en el receptor *Rake*, seguido del desensanchamiento y decodificación de los datos gracias a la señalización entregada por el canal HS-SCCH. El receptor está compuesto por los siguientes bloques: recepción *Rake* (*Ideal Rake Rcvr*), recepción HS-DSCH (*HS-DSCH Rx*), decodificación HS-DSCH (*HS-DSCH Decoder*), verificación CRC HS-DSCH (*HS-DSCH CRC Check*). Para señalización el recepción HS-SCCH (*HS-SCCH Rx*), generación ACK/NACK (*ACK Gen*) así como para análisis de AMC se necesitan los bloques adicionales, estimación del CQI (*CQI Estimation*), bloque de informe del CQI (*CQI Report*), y visualización del CQI (*CQI Display*). Además de esto, para procesamiento de señales en el tiempo se utilizan los bloques de retardo de unidad (*Unit Delay*). Para la evaluación del desempeño de HSDPA se utiliza el bloque determinación de BER y BLER (*BER/BLER*).

La figura 3.16 muestra el modelo que se implementó para simular el subsistema receptor HSDPA. Las conexiones tipos de señal entregadas y recibidas por cada bloque se muestran en la figura A.24. Este subsistema se compone por los siguientes bloques:

1. Recepción tipo *Rake* ideal (*Ideal Rake Rcvr*).
2. Recepción HS-DSCH (*HS-DSCH Rx*).
3. Decodificación HS-DSCH (*HS-DSCH Decoder*).
4. Verificación de CRC HS-DSCH (*HS-DSCH CRC Check*).
5. Retardo unitario (*Unit Delay*).
6. Determinación BER/BLER (*BER/BLER*).
7. Generación ACK/NACK (*ACK Gen*).
8. Retardo unitario (*Unit Delay*).
9. Estimación del CQI (*CQI Estimation*).
10. Informe CQI (*CQI Report*).
11. Visualización CQI (*CQI Display*).

12. Recepción HS-SCCH (HS-SCCH Rx).

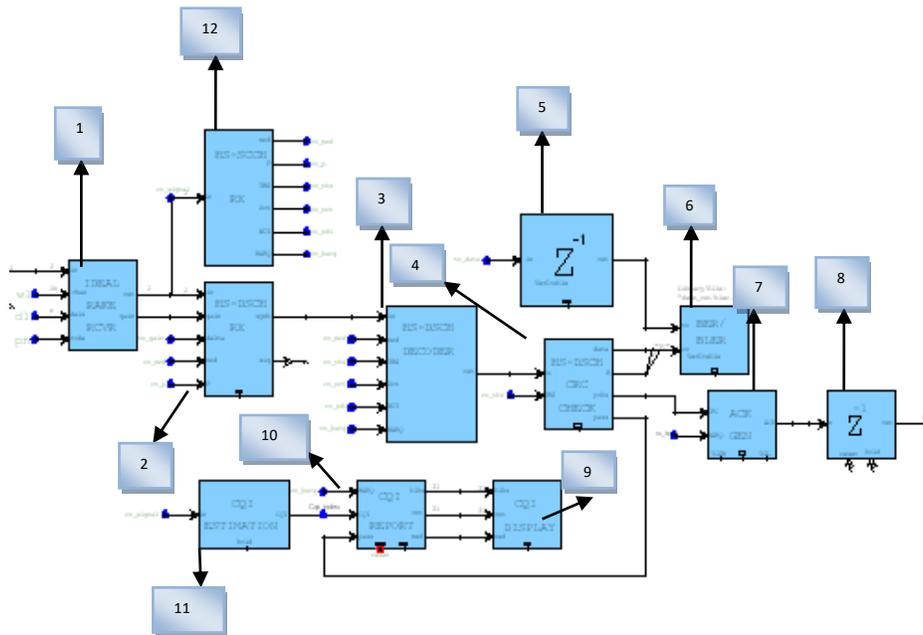


Figura 3. 16. Modelo de Simulación del subsistema receptor.

3.3.1 Recepción Tipo *Rake* Ideal (*IDEAL Rake RCVR*)

Este bloque simula un receptor *Rake* ideal¹⁶ El rol que efectúa este es muy importante en los UE HSDPA, ya que la señal proveniente del Nodo B ha sido afectada por multitrayectoria y el ruido, con el receptor *Rake* se compensa el retardo de cada una de las señales multitrayecto colocando las diferentes señales en fase, además recibe el código de aleatorización para la decodificación de la señal, en la figura 3.17 se muestra el bloque que realiza esta función.

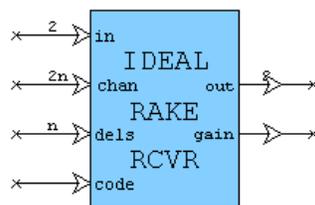


Figura 3. 17. Bloque: Receptor *Rake*.

Parámetros:

- ✓ Tasa de chip (*chip rate*): tasa de chip del sistema. En la simulación este parámetro es igual 384000000 chips/segundo.

¹⁶ Receptor *Rake* ideal: recibe información exacta de los retardos del canal y la ganancia. En la práctica estos valores deben ser estimados

- ✓ Factor de sobremuestreo de canal (*channel oversampling factor*): número de muestras por cada chip. En la simulación este parámetro es igual a 4.
- ✓ Número de caminos *Rake* (*number of Rake fingers*): número de trayectos de la señal. Este valor es función del modelo de canal que se esté utilizando.
- ✓ Duración de la trama radio (*radio frame duration*): tiempo que dura un bloque de datos de usuario. En la simulación este parámetro es igual a 2 ms.
- ✓ Número de ranuras en una trama (*number of Slots in a frame*): ranuras que tiene un TTI. En la simulación este parámetro es igual a 3.

Señales de entrada:

- ✓ Señal de entrada compleja (*in*): en VRC como en FRC recibe la señal compleja codificada con el código de aleatorización después de haber pasado por el canal radio, proveniente del puerto *out* del bloque *Add* (figura 3.15), con el fin de alinear las señales afectadas por la multitrayectoria y aumentar la potencia de esta.
- ✓ Atenuación de trayectoria (*chan*): en VRC como en FRC recibe la señal que indica la atenuación de cada una de las señales multitrayecto. Este valor es entregado por el puerto *taps* del bloque *3GPP Channel* (figura 3.13).
- ✓ Retardo (*dels*): en VRC como en FRC recibe la señal que indica el retardo de cada trayecto afectado por multitrayectoria. Estos son entregados por el puerto *dels* del bloque *3GPP Channel* (figura 3.13), en la práctica estos valores son estimados de la señal proveniente de cada trayecto con una estimación del canal.
- ✓ Código (*code*): en VRC como en FRC recibe la señal que indica el código de aleatorización el cual corresponde a 0. Este es entregado por el puerto *code* del bloque *HSDPA Scrambler* (figura 3.7).

Señales de salida:

- ✓ Señal de salida (*out*): señal que en VRC como en FRC entrega información compleja proveniente del Nodo B, esta se encuentra desaleatorizada por el respectivo código.
- ✓ Ganancia (*gain*): señal que en VRC como en FRC entrega la ganancia de potencia del canal de propagación. Esto debido a la alineación de las diferentes señales afectadas por multitrayectoria.

3.3.2 Recepción HS-DSCH (*HS-DSCH RX*)

Este bloque recibe la trama de datos ensanchada y decodificada por el respectivo código de aleatorización así como la ganancia de señal resultado de la compensación multitrayecto realizada por el receptor *Rake*. El bloque realiza la demodulación y el desensanchamiento de la señal de datos de usuario, además recibe la información de reajuste de potencia en transmisión de acuerdo al valor del CQI como se explicó en la sección 1.5 y la información del número de canales físicos

que traen la información de tráfico de usuario. En la figura 3.18 se muestra el bloque que realiza esta función.

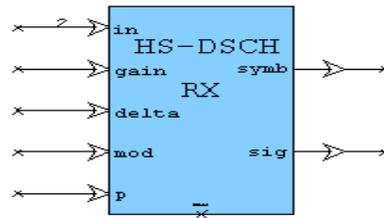


Figura 3. 18. Bloque: Receptor HS-DSCH

Parámetros:

- ✓ Factor de ensanchamiento HS-DSCH (*HS-DSCH Spreading factor*): parámetro especificado en la sección 3.1.3.
- ✓ Primer código de canalización OVSF (*first OVSF Channelization Code*): parámetro especificado en la sección 3.1.3.
- ✓ E_c/I_{or} (dB) de HS-PDSCH (*HS-PDSCH E_c/I_{or} (dB)*): indica la relación de energía por chip del canal HS-DSCH transmitido con respecto a la densidad espectral de potencia total transmitida en el conector de la antena del Nodo B. El valor de este parámetro cambia durante la simulación con fines de evaluación y análisis.
- ✓ Canales físicos (*physical channels*): parámetro especificado en la sección 3.1.2.
- ✓ Método de modulación (*Modulation Method*): parámetro especificado en la sección 3.1.2.

Señales de entrada:

- ✓ Entrada de datos (*in*): en VRC como en FRC recibe la señal que contiene los datos en chips de tráfico de usuario entregados por el puerto *out* del bloque *Ideal Rake Rcvr* (figura 3.17), para realizar el desensanchamiento y la demodulación de la información.
- ✓ Ganancia (*gain*): en VRC como en FRC recibe la señal que indica la ganancia de potencia del canal de propagación proveniente por el puerto *gain* del bloque *Ideal Rake Rcvr* (figura 3.17), esto debido a la alineación de las diferentes señales multitrayectoria.
- ✓ Ajuste de potencia (*delta*): en VRC como en FRC recibe la señal que indica el ajuste de potencia proveniente del puerto *gain* del bloque *HS-SCCH CQI Map* (figura 3.9), en función del valor del CQI como se explicó en la sección 1.5.
- ✓ Modulación (*mod*): en VRC recibe la señal que indica el tipo de demodulación a utilizar de acuerdo a la señalización de enlace de bajada, esta es entregada por el puerto *mod* del bloque *HS-SCCH Rx* (figura 3.29), QPSK es señalizada por un 0 y 16 QAM por un 1, para

análisis de HARQ este valor se lo configura en el parámetro *Modulation Method* con un valor igual a 0.

- ✓ Canales físicos (p): en VRC recibe la señal que indica el número de canales físicos que transportaron los datos de usuario por el TTI actual. Esta es entregada por el puerto p del bloque *HS-SCCH RX* (figura 3.29). Para análisis de HARQ este valor se lo configura en el parámetro *physical channels* con un valor igual a 5.

Señal de salida:

- ✓ Símbolos (*symp*): señal que en VRC como en FRC entrega la información de usuario en formato de símbolos en canales físicos, de acuerdo a la demodulación realizada, QPSK o 16QAM.

3.3.3 Decodificación HS-DSCH (*HS-DSCH DECODER*)

Este bloque realiza la decodificación para el canal HS-DSCH, realiza la función inversa del codificador de canal mostrado en la sección 3.1.2, lleva a cabo la demultiplexación de los canales multicódigo, realiza la decodificación turbo obteniendo así los datos de usuario, estos se almacenan en un *buffer* por proceso HARQ con el propósito de realizar combinación de datos si se requiere de una retransmisión, finalmente se obtiene el bloque de transporte con CRC adjunto. En la figura 3.19 se muestra el bloque que realiza esta función.

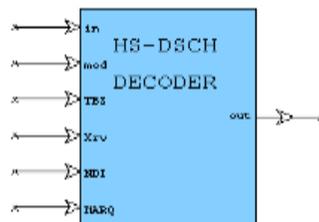


Figura 3. 19. Bloque: Decodificador HS-DSCH.

Parámetros:

- ✓ Tamaño del *buffer* virtual IR: parámetro especificado en la sección 3.1.2.
- ✓ Número de Procesos HARQ (*Number of HARQ Processes*): parámetro especificado en la sección 3.1.1.
- ✓ Método de modulación (*Modulation Method*): parámetro especificado en la sección 3.1.2.
- ✓ Tamaño del bloque de transporte (*Transport Block Size*): parámetro especificado en la sección 3.1.2.
- ✓ Bloques iniciales para descartar (*Initial blocks to skip*): número de bloques de transporte que no se tienen en cuenta al inicio de la decodificación del canal HS-DSCH. En la simulación este parámetro es igual a 0.

Señales de entrada:

- ✓ Entrada de *datos (in)*: en VRC como en FRC recibe la señal de información de usuario proveniente del puerto *symp* del bloque *HS-DSCH Rx* (figura 3.18). Esta se encuentra en canales físicos en TTI's de 2 ms.
- ✓ Modulación (*mod*): parámetro especificado en la sección 3.3.2.
- ✓ Tamaño del bloque de transporte (*TBS*): en VRC recibe la señal que indica el tamaño del bloque de transporte en bits de acuerdo a la señalización de enlace de bajada entregada por el puerto *TBS* del bloque *HS-SCCH Rx* (figura 3.29). Para FRC este valor se lo configura en el parámetro *Transport Block Size* con un valor igual a 3202.
- ✓ Versión de Redundancia (*Xrv*): en VRC como en FRC recibe la señal de la versión de redundancia entregada por el puerto *Xrv* del bloque *HS-SCCH Rx* (figura 3.29), que indica cuántas veces se ha retransmitido un bloque específico.
- ✓ Indicador de Nuevos Datos (*NDI*): en VRC como en FRC recibe la señal del puerto *NDI* proveniente del bloque *HS-SCCH Rx* (figura 3.29), que indica si lo que se transmiten son datos nuevos o es una retransmisión.
- ✓ Número de proceso HARQ (*HARQ*): en VRC como en FRC recibe la señal del puerto *HARQ* proveniente del bloque *HS-SCCH Rx* (figura 3.29), que indica el número de proceso HARQ que pertenece el TTI.

Señal de salida:

- ✓ Datos (*out*): señal que en VRC como en FRC entrega los datos de usuario correspondiente al bloque de transporte con CRC adjunto para su posterior verificación.

3.3.4 Verificación CRC HS-DSCH (*HS-DSCH CRC CHECK*)

Este bloque recibe la señal proveniente del decodificador HS-DSCH, esta se compone por el TBS y el CRC adjunto, el bloque verifica el CRC para detectar errores en la transmisión, y entrega la información del número de paquetes con CRC correcto, decodificaciones exitosas o erradas y entrega el *throughput*, en la figura 3.20 se muestra el bloque que realiza esta función.

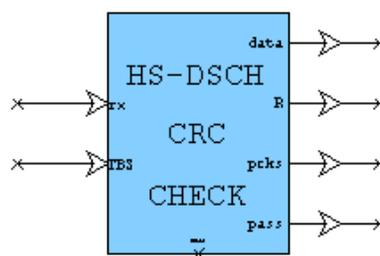


Figura 3. 20. Bloque: Verificación CRC HS-DSCH.

Parámetros:

- ✓ Tamaño del Bloque de Transporte por defecto (*default Transport Block Size*): parámetro especificado en la sección 3.1.
- ✓ Número de bits del CRC (*Number Of CRC Bits*): parámetro especificado en la sección 3.1.2
- ✓ Polinomio generador CRC (*CRC Generator Polynomial*): parámetro especificado en la sección 3.1.2
- ✓ Longitud del TTI (*Length of TTI (ms)*): duración en ms de un TTI. En la simulación este parámetro es igual a 2.
- ✓ Bloques iniciales a descartar (*Initial blocks to skip*): número de bloques iniciales que no se tienen en cuenta en la simulación. En la simulación este valor es igual a 1.

Señales de entrada:

- ✓ Entrada de datos (*rx*): en VRC como en FRC recibe la señal que contiene los datos de tráfico de usuario con CRC adjunto provenientes por puerto *out* del bloque *HS-DSCH Decoder* (figura 3.19).
- ✓ Tamaño del bloque de transporte (*TBS*): parámetro especificado en la sección 3.3.3.

Señales de salida:

- ✓ Datos de usuario (*data*): señal que en VRC como en FRC entrega los datos de usuario los cuales fueron transmitidos desde el Nodo B.
- ✓ Información del *throughput* (*R*): señal que en VRC como en FRC informa gráficamente sobre el *throughput* recibido en Kbps.
- ✓ Paquetes recibidos (*pcks*): señal que en VRC como en FRC entrega información del número de paquetes recibidos con CRC correcto, este dato es entregado al puerto *CRC* del bloque *ACK GEN* (figura 3.21).

3.3.5. Retardo De Unidad (**BULK DELAY**)

Las especificaciones de este bloque se describen en la sección 3.10. En la simulación este bloque se utiliza para retardar la señal de datos de usuario proveniente del transmisor y así alinearla con la señal de datos del receptor, para posteriormente evaluar la BER/BLER (figura 3.22). En la figura 3.21 se muestra el bloque que realiza esta función.

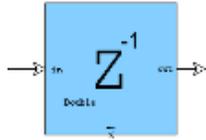


Figura 3. 21. Bloque: Retardo de unidad.

Parámetros:

- ✓ Parámetros definidos en la sección 3.1.10.

Señales de entrada:

- ✓ Entrada (*in*): en VRC como en FRC recibe la señal entregada por el puerto *out* del bloque *HARQ Source* (figura 3.2).

Señales de salida:

- ✓ Salida (*out*): en VRC como en FRC entrega la señal de entrada retrasada un periodo de muestra para alinear en el tiempo la señal de tráfico de usuario transmitida y recibida para determinar la BER y BLER.

3.3.6 Determinación BER/BLER (BER/BLER)

Este bloque además de calcular la BER y la BLER reporta un intervalo de confianza que permite detener la simulación una vez que la evaluación alcance cierta calidad. La BER es calculada como el número de bits transmitidos diferentes, dividido por el número de bits transmitidos en un intervalo de tiempo. La BLER es calculada como el número de bloques con alguna diferencia dividido sobre el número de bloques observados todo el tiempo. En la figura 3.22 se muestra el bloque que realiza esta función.

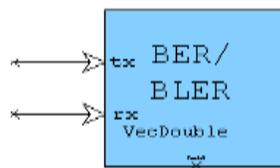


Figura 3. 22. Bloque BER/BLER.

Parámetros:

- ✓ Tipo de señal (Typename): tipo de señales a comparar (vectores o valores escalares). En la simulación se configura en *VecDouble*, es decir que las señales son de tipo vector para calcular la BLER.
- ✓ Ruta (Path): ruta del archivo donde serán almacenados los resultados de la BER/BLER. En la simulación este parámetro es igual a "*demo_out/bler.csv*".

- ✓ Número de entradas a ignorar (*Number of inputs to ignore*): número de entradas a ignorar antes de iniciar la verificación de los datos. En la simulación este parámetro es igual a 1.
- ✓ Texto para agregar a los títulos de los resultados (*Text to add to results titles*): texto que se quiere agregar como etiqueta a los resultados. En la simulación este parámetro es igual "Rcv", valor por defecto.
- ✓ Resultados de la BER (*Store BER results*): define si se quieren almacenar los resultados de la BER. En la simulación este parámetro es igual a "Yes".
- ✓ Resultados de la BLER (*Store BLER results*): define si se quieren almacenar los resultados de la BLER. En la simulación este parámetro es igual a "Yes".
- ✓ Función de desajuste de tamaño (*Ignore BER/BLER on size mismatch*): si se configura en "Yes", y los resultados sobrepasan la tasa de decisión de error los cálculos de la BER y BLER son ignorados. En la simulación este parámetro es igual a "Yes", valor por defecto.
- ✓ Prueba de confianza (*Confidence test*): prueba de confianza a desarrollar. Se puede escoger entre estos cuatro tipos de pruebas: límite de BER (*BER bound*), límite de BLER (*BLER bound*), intervalo de BER (*BER interval*) o intervalo de BLER (*BLER interval*). Las pruebas de intervalo definen el intervalo de confianza de la tasa de error asociada y las pruebas de límite definen la confianza unilateral de la tasa de error asociada. En la simulación este parámetro es igual a "BER_interval".
- ✓ Porcentaje de confianza (*Confidence percentage*): porcentaje del nivel de confianza. En la simulación este parámetro es igual a 99.
- ✓ Informar los resultados de confianza (*Report confidence results*): define si se desea conocer el límite o el intervalo de confianza medido. En la simulación este parámetro es igual a "no", valor por defecto.
- ✓ Modo de auto detención (*Auto stop mode*): parámetro tipo de prueba para detener la simulación. Estas pruebas pueden ser: prueba de confianza (*confidence test*), errores de bloques (*block errors*), errores de bit (*bit errors*). En la simulación este parámetro se deshabilitó.
- ✓ Máximo error contado (*Error count max*): número máximo de errores posibles permitidos si en el parámetro de auto detención se ha fijado errores de bloque o errores de bit. En la simulación este parámetro es igual a 20, pero debido a que no se utiliza el modo de detención automática el valor no tiene significado.
- ✓ Objetivo para la prueba de límite (*Target for bound test*): define si el modo de auto detención está configurado como prueba de confianza y este a su vez es configurado como límite de BER o límite de BLER. La simulación se detendrá una vez que el intervalo de confianza se encuentre en el rango del valor estimado.

Señales de entrada:

- ✓ Datos del transmisor (*tx*): en VRC como en FRC recibe la señal de datos de usuario del Nodo B provenientes por el puerto *out* del bloque *Bulk Delay* (figura 3.21), estos se encuentran retardados en una unidad de simulación con el fin de alinearlos con los datos de usuario en el receptor.
- ✓ Datos del receptor (*rx*): en VRC como en FRC recibe la señal que contiene los datos de usuario provenientes por el puerto *data* del bloque *HS-DSCH CRC Check* (figura 3.20).

Señales de salida:

- ✓ Ninguna.

3.3.7 Generación ACK/NACK (*ACK GEN*)

Este bloque es el encargado de generar el reconocimiento ACK/NACK correspondiente a un TTI. Esta señalización es útil para la retroalimentación de información hacia el Nodo B, ya que ésta indica si se debe hacer retransmisiones o enviar un nuevo TTI de información, indica con un 1 si el TBS fue decodificado exitosamente o con un 0 en caso contrario, el bloque tiene un puerto de entrada para indicarle el número de proceso HARQ actual tomado como referencia para evaluar el CRC correspondiente. En la figura 3.23 se muestra el bloque que realiza esta función.

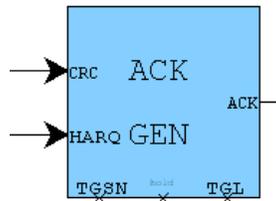


Figura 3. 23. Bloque: Generador de ACK/NACK.

Parámetros:

- ✓ Tasa de error ACK/NACK (*ACK/NACK error rate*): parámetro que define la tasa de error de ACK/ NACK. En la simulación este parámetro es igual a 0 (valor por defecto).
- ✓ Probabilidad de DTX (*DTX probability*): parámetro que define la probabilidad de que ocurra una transmisión discontinua en lugar de un ACK/NACK debido a errores de señalización (el Nodo B no recibe el acuse de recibo). En la simulación este parámetro es igual a 0.
- ✓ Número de retardo de tramas (*number of frames delay*): parámetro que define el retardo en muestras de las tramas entre transmisión y recepción. En la simulación este parámetro es igual a 1.

Señales de entrada:

- ✓ CRC (CRC): en VRC como en FRC recibe la señal del CRC proveniente del puerto *pass* del bloque *HS-DSCH CRC Check* (figura 3.20).
- ✓ Número de proceso HARQ (HARQ): parámetro definido en la sección 3.3.3.

Señales de salida:

- ✓ ACK (ACK): en VRC como en FRC entrega la señal de acuse de recibo de la decodificación del bloque de transporte en curso. Con un 1 indica ACK, un 0 NACK, esta información es enviada hacia el Nodo B.

3.3.8. Retardo De Unidad (*BULK DELAY*)

Las especificaciones de este bloque se describen en la sección 3.1.10. Simula el retardo que sufre la señal en la retroalimentación ACK/NACK en el enlace de subida. En la figura 3.24 se muestra el bloque que realiza esta función.

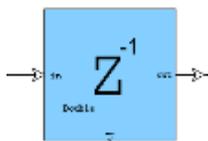


Figura 3. 24. Bloque: Retardo de muestra.

Parámetros:

- ✓ Parámetros especificados en la sección 3.1.10.

Señal de entrada:

- ✓ entrada (*in*): en VRC como en FRC recibe la señal entregada por el puerto ACK del bloque *ACK Gen* (figura 3.23).

Señales de salida:

- ✓ Salida (*out*): señal que en VRC como en FRC entrega el ACK/NACK al Nodo B.

3.3.9 Estimación Del CQI (*CQI ESTIMATION*)

Este bloque mide la calidad del canal radio con base en la potencia de recepción del CPICH. Este bloque recibe la señal que le llega al receptor por el canal, la estimación realizada se traduce en un valor entero entre 0 y 30. Esta funcionalidad es útil cuando se desea realizar análisis de AMC, ya que el valor del CQI indica al Nodo B cuales deben ser los recursos que debe utilizar, para enfrentar los problemas del canal radio y de esta manera tener mayor éxito en una transmisión. En la figura 3.25 se muestra el bloque que realiza esta función.



Figura 3. 25. Bloque: Estimación del CQI.

Parámetros:

- ✓ Tabla de búsqueda del CQI (*CQI lookup table*): parámetro que define el nombre del archivo en donde se encuentran los valores de potencia recibida del canal CPICH con su respectivo valor de CQI. El archivo para las categorías del 1 al 6 se muestra en la figura 3.26.
- ✓ E_c/I_{or} (dB) del HS-DSCH (*HS-PDSCH_ E_c/I_{or} (dB)*): parámetro definido en la sección 33.2.
- ✓ E_c/I_{or} (dB) del P-CPICH (*P-CPICH_ E_c/I_{or} (dB)*): Parámetro que define la relación de energía por chip del canal CPICH transmitida con respecto a la densidad espectral de potencia total transmitida en el conector de la antena del Nodo B. Su valor cambia durante la simulación con fines de evaluación y análisis.
- ✓ Tasa de sobre muestreo del canal (*channel oversampling rate*): parámetro que define el número de muestras por chip. En la simulación este parámetro es igual a 4.

```

vector type = interlaced
vector length = 60
number of vectors = 2
number of signal points = 60
sampling frequency = 1
starting time = 0
$
3.15147400e-19 1
3.89209100e-19 2
4.97306600e-19 3
6.46269000e-19 4
7.95469100e-19 5
1.03607400e-18 6
1.23130500e-18 7
1.57627100e-18 8
1.95319700e-18 9
2.49017600e-18 10
3.12058900e-18 11
4.03408200e-18 12
5.09475500e-18 13
6.46810500e-18 14
8.50053300e-18 15
1.00159200e-17 16
1.29274400e-17 17
1.55194700e-17 18
2.09236600e-17 19
2.64303500e-17 20
3.26051100e-17 21
4.14227900e-17 22
5.21471300e-17 23
6.56479700e-17 24
9.34728800e-17 25
1.36058400e-16 26
2.00422500e-16 27
2.98492600e-16 28
4.48963200e-16 29
6.81198500e-16 30

```

Figura 3. 26. Tabla archivo de búsqueda CPICH - CQI.

Señal de entrada:

- ✓ Entrada de potencia (*in*): en VRC recibe la señal que contiene el valor de la potencia de la señal entregada por el canal radio (canal CPICH), proveniente por el puerto *out* del bloque *Ideal Rake Rcvr* (figura 3.17).

Señal de salida:

- ✓ CQI (*CQI*): señal que en VRC entrega el valor del CQI de acuerdo a la potencia estimada del canal CPICH

3.3.10 Informe De CQI (*CQI REPORT*)

Este bloque almacena y calcula la información del CQI de manera estadística. Para su procedimiento el bloque primero determina el numero de proceso HARQ, si es mayor o igual a 0 con el fin de determinar si son datos o una transmisión discontinua, si son datos almacena la información que le llega por el puerto *pass* para determinar si hubo decodificación exitosa o no, el bloque decodificado lo relaciona con el CQI actual y así determina información de bloque decodificados exitosamente y erradamente para un determinado valore de CQI, esta la envía al bloque de despliegue del CQI. En la figura 3.27 se muestra el bloque que realiza esta función

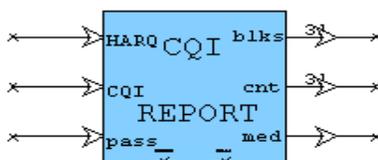


Figura 3. 27. Bloque: Reporte del CQI.

Parámetro:

- ✓ Nombre de archivo de resultado (*results filename*): especifica el nombre del archivo base para almacenar los resultados de la simulación (valor por defecto).

Señales de entrada:

- ✓ Número de proceso HARQ (*HARQ*): parámetro especificado en la sección 3.3.3
- ✓ CQI (*CQI*): en VRC recibe la señal que contiene el valor del CQI proveniente del puerto *CQI* del bloque *CQI Estimation* (figura 3.25).
- ✓ Paquetes recibidos (*pass*): en VRC recibe la señal de información del número de paquetes recibidos con CRC correcto proveniente del puerto *pass* del bloque *HS-DSCH CRC Check* (figura 3.20).

Señales de salida:

- ✓ Bloques recibidos (*blks*): señal que en VRC entrega la información del número de bloques de transporte recibidos.
- ✓ Conteo decodificación (*cnt*): señal que en VRC entrega la información del número de bloques de transporte decodificados correctamente.
- ✓ Media (*med*): señal que en VRC entrega el valor medio del CQI.

3.3.11 Visualización Del CQI (*CQI DISPLAY*)

Este bloque despliega la información de los distintos valores del CQI a través del tiempo en una ventana. Esta información puede realizarse numéricamente o gráficamente (diagrama de barras). En la simulación se desplegó en diagrama de barras. Con una barra negra se muestra la magnitud de bloques de datos transmitidos para un valor de CQI y con una barra azul la cantidad de bloques de datos decodificados exitosamente. En la figura 3.28 se muestra el bloque que realiza esta función.



Figura 3. 28. Bloque: despliegue del CQI.

Parámetros:

- ✓ Desplegar gráfico de barras (*Bar graph display on*): define si se desea desplegar la información estadística por medio de barras. En la simulación este parámetro es igual a "yes".
- ✓ Desplegar tabla (*table display on*): define si se desea mostrar la información por medio de una tabla numérica. En la simulación este parámetro es igual a "yes".

Señales de entrada:

- ✓ Bloques reportados (*blks*): en VRC recibe la señal de información del número de bloques provenientes por el puerto *blks* del bloque *CQI Report* (Figura 3.27).
- ✓ Reporte de bloques decodificados (*cnt*): en VRC recibe la señal de información del número de bloques recibidos y decodificados correctamente provenientes por el puerto *cnt* del bloque *CQI Report* (figura 3.27).
- ✓ Reporte de media (*med*): en VRC recibe la señal que contiene el valor medio del CQI proveniente del puerto *med* del bloque *CQI Report* (figura 3.27).

Señales de salida:

- ✓ Ninguna.

3.3.12 Recepción HS-SCCH (*HS-SCCH RX*)

Este bloque se encarga de recibir la señalización e informar sobre lo que llega desde el Nodo B. primero desensancha y decodifica la información, seguido de esto separa los campos de bits en dos partes como se explicó en la sección 1.3.2, la salida contiene información sobre el tipo de modulación utilizada en la transmisión, codificación y número de canales físicos que contienen la información, el tamaño del bloque de transporte. Para los procesos HARQ informa sobre el número que identifica al proceso que se transmitió, versión de redundancia, indicador de nuevos datos, además en la práctica informa sobre la identificación del UE, para la simulación esta se la configura en el parámetro (*UE Identity*). En la figura 3.29 se muestra el bloque que realiza esta función.

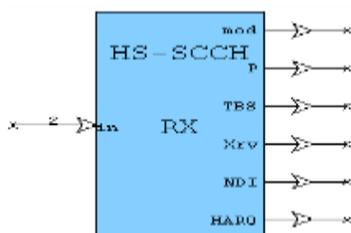


Figura 3. 29. Bloque: receptor HS-SCCH.

Parámetros:

- ✓ Identidad del UE (*UE Identity*): parámetro especificado en la sección 3.1.7.
- ✓ código OVSF (*OVSF code*): parámetro especificado en la sección 3.1.7.
- ✓ Factor de ensanchamiento HS-SCCH (*HS-SCCH Spreading factor*): parámetro especificado en la sección 3.1.7.
- ✓ Número de bits del CRC (*Number Of CRC Bits*): parámetro especificado en la sección 3.1.2
- ✓ Polinomio CRC (*CRC Polynomial*): parámetro especificado en la sección 3.1.2

Señal de entrada:

- ✓ Entrada señalización (*in*): en VRC como en FRC recibe la señal proveniente del puerto *out* del bloque *Ideal Rake Rcvr* (figura 3.17), con el fin de que ésta sea recibida, decodificada y entregada a los diferentes módulos.

Señales de salida:

- ✓ Tipo de modulación (*mod*): señal que en VRC como en FRC entrega la información del tipo de modulación que se utilizó en la transmisión. QPSK es señalizada por un 0 y 16 QAM por un 1.
- ✓ Número de canales físicos (*p*): señal que en VRC como en FRC entrega la información que indica cuantos canales físicos contienen la información de un TTI.
- ✓ Tamaño del bloque de transporte (*TBS*): señal que en VRC como en FRC entrega la información que indica el valor en bits del tamaño del bloque de transporte que se transmitió.
- ✓ Versión de redundancia (*Xrv*): señal que en VRC como en FRC entrega la información que indica la versión de redundancia para la transmisión de un bloque de datos en particular.
- ✓ Indicador de nuevos datos (*NDI*): indica si el bloque de datos transmitido contiene nueva información. La transmisión de nuevos datos la indica con una alternación de un 1 y un 0 o viceversa si es una retransmisión.
- ✓ Proceso HARQ (*HARQ*): señal que en VRC como en FRC identifica el número de proceso HARQ transmitido en el TTI. Entrega valores del 0 al 7, o muestra un valor igual a -1 si fue una transmisión discontinua (DTX).

CAPÍTULO 4

ANÁLISIS DE RESULTADOS

En este capítulo se muestran los resultados obtenidos en la simulación a nivel de enlace de la tecnología HSDPA que se realizó para la evaluación y análisis de HARQ y AMC, tomando como base lo mencionado en [7]. Además como guía se tomaron en cuenta parámetros de simulación de [24] [25].

Con base en las referencias mencionadas en el párrafo anterior se obtiene información, esta indica que para fines de simulación de HARQ se utiliza FRC y para AMC se utiliza VRC, por este motivo este capítulo contiene por separado los análisis correspondientes a HARQ y AMC, además se evalúa el desempeño de la tecnología, teniendo en cuenta los diferentes modelos de canal definidos por UIT y recomendados por 3GPP. Debido a limitaciones del simulador (SDP de Coware®), la evaluación y análisis de la tecnología HSDPA se realizó para las primeras 6 categorías de UE, en la sección 4.1 se observan los resultados de la evaluación de la tecnología HSDPA con FRC en el modelo de canal PA3 (canal más común entre los usuarios) para analizar el desempeño de las diferentes características que tiene HARQ. La sección 4.2 contiene los resultados de la evaluación de la tecnología HSDPA con HARQ y FRC con los diferentes modelos de canal, para analizar el desempeño de cada uno de estos. La sección 4.3 se muestran los resultados de la evaluación de la tecnología HSDPA con AMC y VRC en el modelo de canal PA3 (canal más común entre los usuarios) para analizar el desempeño de esta técnica. En la sección 4.4 se observan los resultados de la evaluación de la tecnología HSDPA con AMC y VRC para los diferentes modelos de canal propuestos por UIT y recomendados por 3GPP, para analizar el desempeño de AMC en cada uno de estos.

4.1 Evaluación Y Análisis Con FRC¹⁷

Para evaluar el desempeño de HARQ en HSDPA se hace uso de las especificaciones FRC y las categorías de equipos de usuario (UE) 1, 3, 5 y 6, debido a que éstas cuentan con características diferentes tales como: mínimo intervalo entre TTI por proceso HARQ, esquema HARQ CC o IR, número de procesos HARQ. En [24] se definen los parámetros de FRC recomendados para los UE categorías 1, 3, 5 y 6 los cuales se muestran en la tabla 4.1.

Definición FRC	Equipo de usuario UE	Mínimo intervalo entre TTI por proceso HARQ (patrón de transmisión)	Número de canales físicos	Número de Procesos HARQ	Esquema HARQ (CC o IR)	Máximo número de bits por TTI en el canal de transporte HS-DSCH	Tamaño del TBS
H-SET_1	Categoría 1	3	5	2	CC	19200	3202
H-SET_2	Categoría 3	3	5	3	CC	28800	3202
H-SET_3	Categoría 5	1	5	6	CC	57600	3202
H-SET_3	Categoría 6	1	5	6	IR	67200	3202

Tabla 4. 1. Parámetros por categoría UE según la definición FRC [24].

¹⁷ Los análisis de la sección 4.1 y 4.2 (FRC) se realizaron con QPSK. En [24] y [25] se establece que el mejor desempeño de HSDPA se presenta con esta modulación para FRC.

Los experimentos o pruebas que se realizaron para evaluar HSDPA con FRC y analizar el desempeño de HARQ se muestran en la tabla 4.2

Número	Experimento	Modelo de canal	Parámetros fijos de simulación	Parámetro variable	Objetivo
1	Observar valores adecuados de SNR y HS-DSCH E_c/I_{or} .	PA3	loc = - 60 dBm/Hz. Categorías UE: 1, 3 y 5 para FRC (tabla 4.1). Modulación: QPSK. Potencia del Nodo B = 1 vatio.	Relación Señal a Ruido (SNR) HS-DSCH E_c/I_{or} . Mínimo Intervalo entre TTI por proceso HARQ	Observar el mínimo valor de SNR y del HS-DSCH E_c/I_{or} para el cual se logra la BLER objetivo ¹⁸ así como observar el <i>throughput</i> obtenido, y determinar valores adecuados del SNR y HS-DSCH en una comunicación HSDPA con FRC. Observar el comportamiento del <i>throughput</i> en función del SNR para el mínimo valor de HS-DSCH en el cual se obtiene el BLER objetivo.
2	Evaluación de BER y BLER en función del HS-DSCH E_c/I_{or} con HARQ	PA3	loc = - 60 dBm/Hz. SNR (I_{or}/loc) = 10 dB. Categorías UE: 1 y 5 para FRC (tabla 4.1). Modulación: QPSK. Potencia del Nodo B = 1 vatio.	HS-DSCH E_c/I_{or} Mínimo Intervalo entre TTI por proceso HARQ.	Observar el desempeño de la BER y BLER en función del HS-DSCH E_c/I_{or} para observar si la BLER objetivo se logra con los mismos valores de HS-DSCH para los mínimos intervalos de transmisión entre TTI por proceso HARQ ("X00" y "X").
2	Evaluación del <i>throughput</i> en función del HS-DSCH E_c/I_{or} con HARQ.	PA3	loc = - 60 dBm/Hz. SNR (I_{or}/loc) = 10 dB. Categorías UE: 1 y 5 para FRC (tabla 4.1). Modulación: QPSK. Potencia del Nodo B = 1 vatio.	HS-DSCH E_c/I_{or} Mínimo Intervalo entre TTI por proceso HARQ.	Observar el comportamiento del <i>throughput</i> tomando como criterio el mínimo intervalo entre TTI por proceso HARQ ("X00" y "X").
3	Evaluación del <i>throughput</i> para los esquemas HARQ (CC o IR) en función de SNR.	PA3	loc = - 60 dBm/Hz. HS-DSCH E_c/I_{or} = -3 dB. Categorías UE: 1 y 5 para FRC (tabla 4.1). Modulación: QPSK. Potencia del Nodo B = 1 vatio.	Relación Señal a Ruido (SNR) y esquema HARQ (CC o IR)	Determinar si existe alguna diferencia en el comportamiento del <i>throughput</i> para los diferentes esquemas HARQ.
4	Evaluación del <i>throughput</i> en función del número de procesos HARQ. (técnica CC)	PA3	loc = - 60 dBm/Hz SNR = 10 dB HS-DSCH E_c/I_{or} = -3 dB. Configuraciones de las categorías 1 y 5 para FRC (tabla 4.1) a excepción del campo número de procesos. HARQ, y potencia del Nodo B = 1 vatio.	Número activo de procesos HARQ.	Observar el comportamiento del <i>throughput</i> forzando a las categorías 1 y 5 a trabajar con diferente número de procesos HARQ.

Tabla 4. 2. Tabla de experimentos, parámetros y objetivos para la sección 4.1.

¹⁸ BLER objetivo: HSDPA busca conseguir una tasa de error de bloque (BLER) no mayor al 10%, de esta manera se dice que se tiene una comunicación aceptable [12].

4.1.1. Experimento 1

Este experimento se realizó con los parámetros mostrados en la tablas 4.1 y 4.2, con el propósito de observar el valor mínimo de SNR¹⁹ y HS-DSCH Ec/Ior, que a su vez permita obtener la BLER objetivo (BLER < 10%) para las categorías 1, 3 y 5. Concluir un valor adecuado de la SNR y HS-DSCH para una comunicación HSDPA con FRC. Las simulaciones se realizaron variando los valores más recomendados del HS-DSCH Ec/Ior, los cuales corresponden a -6 dB, -3 dB, -1 dB y valores para la SNR de 0, 5, 15 dB [24] [25]. Los resultados se muestran en la tabla 4.3.

Iteración	Bloques enviados	Bloques Recibidos	Definición	HS-DSCH Ec/Ior (dB)	SNR (dB)	Throughput (kbps)	BER	BLER
1	499	499	H-SET_1	-6	0	137.96192	0.14951733	0.74251497
2	499	499	H-SET_1	-3	0	247.0481	0.086957254	0.53892215
3	499	499	H-SET_1	-1	0	336.88377	0.05234332	0.37125749
4	499	499	H-SET_1	-6	5	301.59118	0.065447494	0.43712575
5	499	499	H-SET_1	-3	5	429.92786	0.025537931	0.19760479
6	499	499	H-SET_1	-1	5	481.26253	0.010691297	0.10179641
7	499	499	H-SET_1	-6	10	429.92786	0.022416753	0.19760479
8	499	499	H-SET_1	-3	10	497.30461	0.0066799568	0.071856287
9	499	499	H-SET_1	-1	10	526.18036	0.0011968568	0.017964072
10	499	499	H-SET_1	-6	15	478.05411	0.011568369	0.10778443
11	499	499	H-SET_1	-3	15	532.59719	0.00063770024	0.005988024
12	499	499	H-SET_1	-1	15	535.80561	0	0
13	499	499	H-SET_2	-6	0	205.33868	0.1504035	0.744
14	499	499	H-SET_2	-3	0	368.96794	0.086820737	0.54
15	499	499	H-SET_2	-1	0	513.34669	0.051946284	0.36
16	499	499	H-SET_2	-6	5	462.01202	0.063628982	0.424
17	499	499	H-SET_2	-3	5	638.47495	0.025752655	0.204
18	499	499	H-SET_2	-1	5	721.89379	0.011021861	0.1
19	499	499	H-SET_2	-6	10	638.47495	0.02182386	0.204
20	499	499	H-SET_2	-3	10	747.56112	0.006233604	0.068
21	499	499	H-SET_2	-1	10	782.85371	0.0013079325	0.024
22	499	499	H-SET_2	-6	15	715.47695	0.011576515	0.108
23	499	499	H-SET_2	-3	15	795.68737	0.00066833229	0.008
24	499	499	H-SET_2	-1	15	802.10421	0	0
25	499	499	H-SET_3	-6	0	410.67735	0.15068801	0.74348697
26	499	499	H-SET_3	-3	0	747.56112	0.084787314	0.53306013
27	499	499	H-SET_3	-1	0	1010.6513	0.051332521	0.36873747
28	499	499	H-SET_3	-6	5	917.60721	0.062966158	0.42685371
29	499	499	H-SET_3	-3	5	1276.9499	0.025187164	0.20240481
30	499	499	H-SET_3	-1	5	1424.5371	0.010315447	0.11022044
31	499	499	H-SET_3	-6	10	1276.9499	0.022820782	0.20240481
32	499	499	H-SET_3	-3	10	1491.9138	0.0063499892	0.068136273
33	499	499	H-SET_3	-1	10	1568.9158	0.0011134073	0.02004008
34	499	499	H-SET_3	-6	15	1434.1623	0.01110278	0.10420842
35	499	499	H-SET_3	-3	15	1588.1663	0.00076918359	0.0080160321
36	499	499	H-SET_3	-1	15	1601	0	0

Tabla 4. 3. Resultados de simulación para las categorías 1, 3 y 5. Parámetros experimento 1 (tabla 4.1 y 4.2), valores de SNR y HS-DSCH Ec/Ior [24] [25].

La tabla 4.3 indica los resultados del experimento 1 en las categorías 1, 3 y 5, para llegar a la BLER objetivo. Este objetivo se consigue a partir de una SNR de 10 dB con valores de HS-DSCH Ec/Ior de -3 dB y -1 dB (correspondientes al 50% y 80 % de la energía total de transmisión del Nodo B en el canal HS-DSCH). Se concluye que valores de una SNR igual a 10 dB y HS-DSCH Ec/Ior de 3 dB son adecuados para una comunicación HSDPA con FRC. El valor de HS-DSCH Ec/Ior de -1 dB se lo descarta debido a que con este valor se tiene el 80 % de la potencia total de transmisión del Nodo

¹⁹ SNR: medida utilizada en la ciencia e ingeniería para cuantificar la cantidad de señal que ha sido afectada por el ruido, definida como relación de la potencia de la señal a la potencia del ruido [31].

B sobre el canal HS-DSCH, dejando los demás canales mencionados en el capítulo 1 y 3 con baja potencia de transmisión y exponiendo el sistema a errores en la señalización.

En la categoría UE 1 la BLER objetivo se consigue a partir de un valor de SNR igual a 10 dB y HS-DSCH Ec/Ior igual a -3 dB, con valores de BER igual a 0.0066799568, BLER igual a 0.071856287 y un *throughput* igual a 497.30461 Kbps. En la categoría UE 3 la BLER objetivo se consigue a partir de un valor de SNR igual a 10 dB y HS-DSCH Ec/Ior igual a -3 dB, con valores de BER de 0.006233604, BLER de 0.068 y un *throughput* de 747.56112 Kbps. En la categoría UE 5 la BLER objetivo se consigue a partir de un valor de SNR de 10 dB y HS-DSCH Ec/Ior de -3 dB, con valores de BER igual a 0.0063499892, BLER igual a 0.068136273 y un *throughput* de 1568.9158 Kbps.

Para observar el comportamiento del *throughput* se graficaron los datos indicados en la tabla 4.3 con un valor de HS-DSCH Ec/Ior de -3 dB. Los resultados se muestran en la figura 4.1.

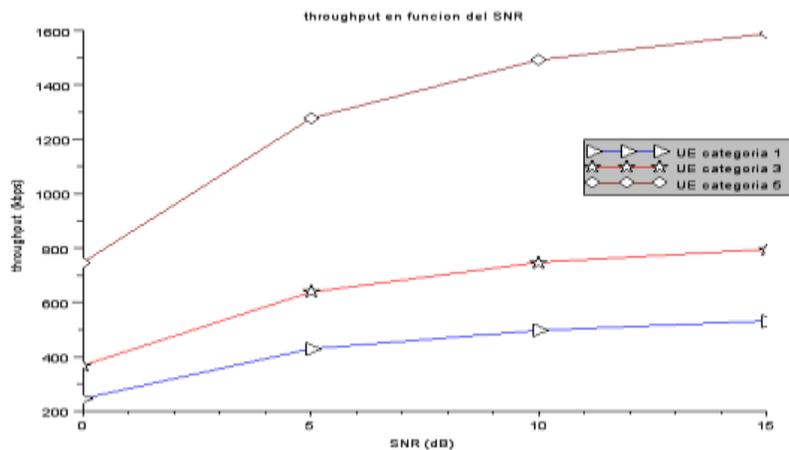


Figura 4. 1. Desempeño del *throughput* para los UE categorías 1, 3 y 5 en función del SNR.

En la figura 4.1 se visualiza el comportamiento del *throughput* para las categorías 1, 3 y 5. Se observa la diferencia en la velocidad de transmisión de datos de usuario entre cada categoría, la diferencia radica en el patrón de transmisión HARQ con la que cada categoría funciona. Se observa que el mejor desempeño en la velocidad de transmisión de datos de usuario se obtiene en la categoría 6, la cual es cercana a los 1600 Kbps con una SNR de 15 dB.

4.1.2 Experimento 2.

Este experimento se realizó en función del HS-DSCH Ec/Ior y con los parámetros mencionados en la tablas 4.1 y 4.2. Se tomaron los UE categorías 1 y 5 por que presentan características distintas en el mínimo intervalo entre TTI por proceso HARQ. En la tabla 4.4 se indican los resultados de simulación para la categoría 1 y en la tabla 4.5 para la categoría 5. Las gráficas de BER y BLER se muestran en las figuras 4.2 y 4.3.

Iteración	Bloques enviados	Bloques Recibidos	HS-DSCH Ec/Ior (dB)	Throughput (kbps)	BER	BLER
1	499	499	-12	176.46293	0.11821953	0.67065868
2	499	499	-10	279.13226	0.077339387	0.47904192
3	499	499	-9	314.42485	0.061019124	0.41317365
4	499	499	-8	349.71743	0.044021888	0.34730539
5	499	499	-7	388.21844	0.032197317	0.2754491
6	499	499	-6	429.92786	0.022416753	0.19760479
7	499	499	-5.5	455.59519	0.019005711	0.1497006
8	499	499	-5	458.80361	0.016368886	0.14371257
9	499	499	-4.5	468.42886	0.012776446	0.1257485
10	499	499	-4	481.26253	0.009932041	0.10179641
11	499	499	-3.5	490.88778	0.0072278927	0.083832335
12	499	499	-3	497.30461	0.0066799568	0.071856287
13	499	499	-2.5	510.13828	0.0054662692	0.0477904192
14	499	499	-2	513.34669	0.004028171	0.041916168
15	499	499	-1.5	522.97194	0.0022852484	0.023952096
16	499	499	-1	526.18036	0.0011968568	0.017964072
17	499	499	-0.5	529.38878	0.0004132896	0.011976048
18	499	499	0	535.80561	0	0

Tabla 4. 4. Resultados de simulación para un UE categoría 1 con FRC. Parámetros experimento 2 (tabla 4.1 y 4.2).

Iteración	Bloques enviados	Bloques Recibidos	HS-DSCH Ec/Ior (dB)	Throughput (kbps)	BER	BLER
1	499	499	-12	532.59719	0.11869398	0.66733467
2	499	499	-10	834.18838	0.075695426	0.47895792
3	499	499	-9	933.6493	0.059610163	0.41683367
4	499	499	-8	1045.9439	0.043622536	0.34669339
5	499	499	-7	1155.0301	0.030749819	0.27855711
6	499	499	-6	1276.9499	0.022820782	0.20240481
7	499	499	-5.5	1344.3267	0.018553034	0.16032064
8	499	499	-5	1363.5772	0.01621419	0.14829659
9	499	499	-4.5	1402.0782	0.012477798	0.1242485
10	499	499	-4	1440.5792	0.01004883	0.1002004
11	499	499	-3.5	1469.4549	0.0080385631	0.082164329
12	499	499	-3	1491.9138	0.0063499892	0.068136273
13	499	499	-2.5	1523.998	0.0049418012	0.048096192
14	499	499	-2	1536.8317	0.0037514129	0.04008016
15	499	499	-1.5	1546.4569	0.0023770214	0.034068136
16	499	499	-1	1568.9158	0.0011134073	0.02004008
17	499	499	-0.5	1588.1663	0.00059769758	0.0080160321
18	499	499	0	1591.3747	0.00029165139	0.006012024

Tabla 4. 5. Resultados de simulación para un UE categoría 5 con FRC. Parámetros experimento 2 (tabla 4.1 y 4.2).

Las tablas 4.4 y 4.5 muestran que para llegar a un BLER < 10% se necesitan valores del HS-DSCH Ec/Ior igual o mayores a -3.5 dB. Para la categoría 1 y 5, lo que concluye que los valores del HS-DSCH Ec/Ior para lograr la BLER no tienen relación con el patrón de transmisión ("X00" o "X").

En las gráficas mostradas en la figura 4.2 y figura 4.3 se observa que en general el comportamiento de BER y BLER es muy similar para las categorías 1 y 5. Los resultados indican que el intervalo de transmisión entre TTI por proceso HARQ no influye en el desempeño de la decodificación de información. La transmisión de procesos HARQ operan en la categoría 1 con menor frecuencia que en la categoría 5.

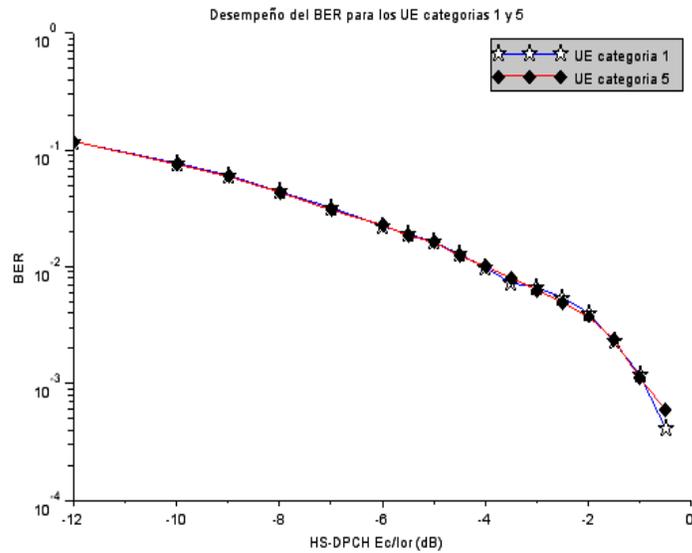


Figura 4. 2. Desempeño de la BER en función del HS-DSCH Ec/Ior para las categorías 1 y 5.

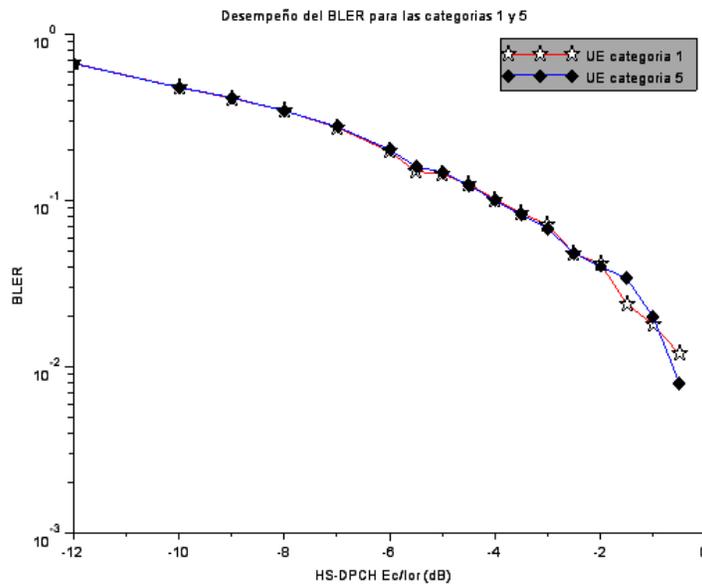


Figura 4. 3. Desempeño de la BLER en función del HS-DSCH Ec/Ior para las categorías 1 y 5.

Para observar el desempeño del *throughput* se tomaron los valores de las tablas 4.4 y 4.5 y así obtener la gráfica mostrada en la figura 4.4.

En la figura 4.4 se observa como el valor del *throughput* se incrementa de manera proporcional con el valor de HS-DSCH Ec/Ior. En la categoría 1 se logra una velocidad de transmisión de datos de usuario igual a 535.80561 Kbps y en la categoría 5 igual a 1591.3747 Kbps. Claramente se observa la diferencia en la velocidad de transmisión de datos entre una categoría y la otra. Se concluye que el mínimo intervalo de transmisión entre TTI por proceso HARQ se ve reflejado en el valor de la velocidad de transmisión de datos.

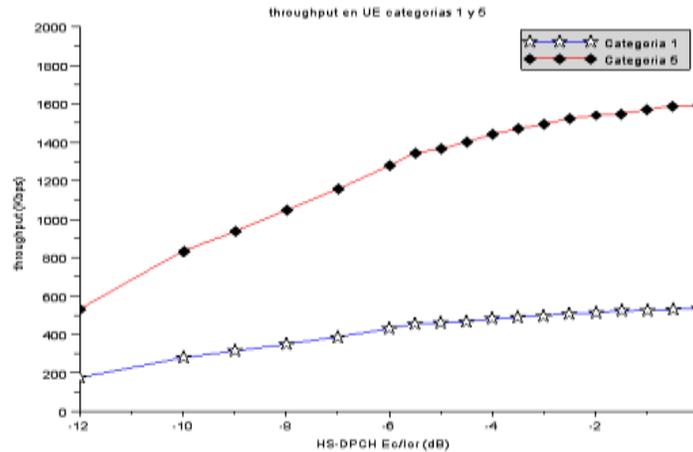


Figura 4. 4. Comportamiento del *throughput* en función del HS-DSCH Ec/Ior para UE categoría 1 y 5.

4.1.3 Experimento 3.

Para observar el desempeño de los esquemas HARQ CC e IR se simularon las categorías 5 y 6, el experimento se realizó con los parámetros mostrados en la tabla 4.1 y 4.2. Se escogieron las categorías mencionadas debido a estas transmiten consecutivamente cada 2 milisegundos (patrón de transmisión "X"), y funcionan con los esquemas CC e IR respectivamente, estos UE se modelan bajo la definición H-SET_3 (tabla 4.1).

Los resultados de la simulación se muestran en la tabla 4.6 para el esquema HARQ CC y en la tabla 4.7 para el esquema HARQ IR.

La categoría 5 utiliza el esquema HARQ CC, debido a esto utiliza 9600 bits de memoria en el *buffer* virtual por cada proceso HARQ.

Iteración	Bloques enviados	Bloques Recibidos	SNR	<i>throughput</i>	BER	BLER
1	499	499	0	747.56112	0.084787314	0.53306613
2	499	499	5	1276.9499	0.025187164	0.20240481
3	499	499	10	1491.9138	0.0063499892	0.068136273
4	499	499	15	1588.1663	0.00076918359	0.0080160321
5	499	499	20	1594.5832	0.00021341872	0.004008016
6	499	499	25	1601	0	0

Tabla 4. 6. Resultados de simulación la categoría 5. Parámetros experimento 3 (tabla 4.1 y 4.2).

La categoría 6 utiliza el esquema HARQ IR, debido a esto utiliza más memoria en el *buffer* virtual, 14400 bits por cada proceso HARQ.

Iteración	Bloques enviados	Bloques Recibidos	SNR	<i>throughput</i>	BER	BLER
1	499	499	0	753.97796	0.085032651	0.52905812
2	499	499	5	1283.3667	0.025116442	0.19839679
3	499	499	10	1485.497	0.0065884423	0.072144289
4	499	499	15	1588.1663	0.0007285026	0.0080160321
5	499	499	20	1594.5832	0.00014269639	0.004008016
6	499	499	25	1601	0	0

Tabla 4. 7. Resultados de simulación para la categoría 6. Parámetros experimento 3 (tabla 4.1 y 4.2).

En los resultados mostrados en la tabla 4.5 se observa el comportamiento del *throughput*, así como los resultados de BER y BLER para una SNR dada, para el esquema HARQ CC. En la tabla 4.7 se observa el desempeño del *throughput*, así como los resultados de BER y BLER para una SNR dada, para el esquema HARQ IR. La figura 4.5 muestra el desempeño del *throughput* en función de SNR con base en los resultados de las tablas 4.6 y 4.7

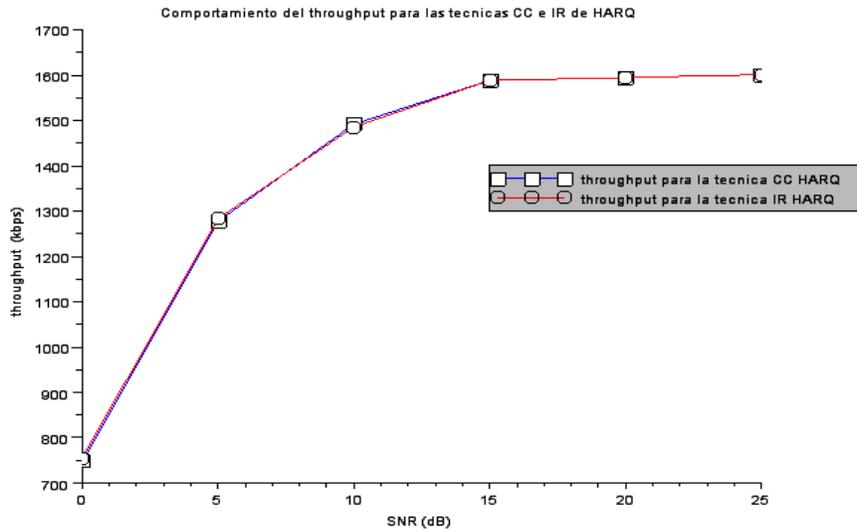


Figura 4. 5. Comportamiento del *throughput* en función del SNR para las técnicas CC (categoría 5) e IR (categoría 6) de HARQ.

En la figura 4.5 se observa que en los dos esquemas HARQ CC e IR el desempeño es muy similar, además se observa que en algunos casos existen valores iguales, esto muestra que el esquema HARQ no influye en la velocidad de transmisión de datos de usuario. En la tabla 2.1 se mostró que la máxima velocidad de transmisión de datos de usuario teórica para los UE que comparten las mismas características y que únicamente difieren en el esquema HARQ es la misma. Las categorías 5 (CC) y 6 (IR) soportan una máxima velocidad teórica de transmisión de datos de usuario igual a 3.65 Mbps (tabla 2.1), además los resultados son similares a los obtenidos en [26].

4.1.4 Experimento 4

Este experimento se realizó con los parámetros mostrados en las tablas 4.1 y 4.2. El propósito fue observar cómo se desempeña el *throughput* en función de la cantidad de procesos HARQ, por lo cual los parámetros sugeridos en las definiciones FRC (tabla 4.1) que indican cuantos procesos HARQ se transmiten de acuerdo una respectiva categoría de UE, no se tuvieron en cuenta, lo que se hizo fue configurar el UE con diferentes números de procesos HARQ.

HSDPA soporta transmisión de procesos HARQ en paralelo para contrarrestar la técnica SaW, lo cual se traduce en que un UE puede simultáneamente estar recibiendo transmisiones de un proceso mientras está enviando el acuse de recibo de otro proceso transmitido. Cada proceso HARQ contiene su propio *buffer* para almacenar los datos del bloque de transporte en caso de que se requiera una retransmisión. Para analizar el desempeño de la tecnología en función del número de procesos HARQ se tomaron las categorías 1 y 5 (*buffer* virtual de 9600 bits) debido a que

presentan diferentes características en lo relacionado al mínimo intervalo de transmisión entre TTI por proceso HARQ. En la figura 4.6 se muestran los resultados obtenidos.

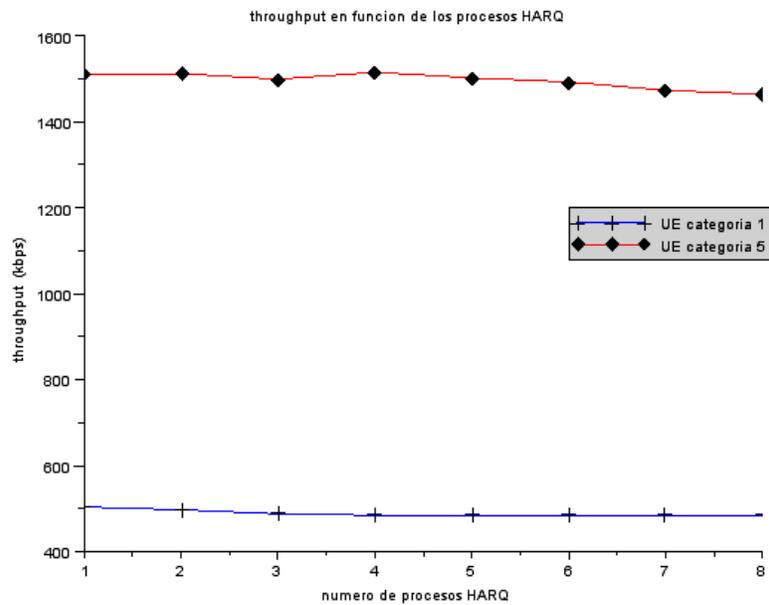


Figura 4. 6. Desempeño del *throughput* en función del número de procesos HARQ para UE categoría 1 y 5.

Con los resultados mostrados en la figura 4.6 se concluye que la cantidad de procesos HARQ activos en una comunicación HSDPA no influyen en la velocidad de transmisión de datos de usuario, ya que la cantidad de ancho de banda se reparte entre la cantidad de transmisiones activas en el mismo tiempo. La pequeña diferencia de *throughput* que se observa en la figura 4.6 en función del número de procesos HARQ es debida a las variaciones aleatorias del canal radio.

4.2. Evaluación Y Análisis De HSDPA En FRC, Con Base En Los Diferente Modelos De Canal De La ITU Y Recomendados Por 3GPP.

Para observar el desempeño de la tecnología HSDPA con FRC para los diferentes modelos de canal propuestos por 3GPP se realizaron los experimentos mostrados en la tabla 4.8.

Número	Experimento	Parámetros fijos de simulación	Parámetros variable	Objetivo
1	Evaluación del <i>throughput</i> , BER y BLER en función del HS-DSCH Ec/Ior para los diferentes modelos de canal.	SNR (Ior/loc) = 10 dB, loc = - 60 dBm/Hz, configuración de las categoría 5 ²⁰ para FRC (tabla 4.1), modulación QPSK, potencia de Nodo B = 1 vatio.	HS-DSCH Ec/Ior, Modelo de canal (PA3, PB3, VA30, VA120).	Observar el comportamiento del <i>throughput</i> para los diferentes modelos de canal y determinar en cuál de estos se consigue mayor velocidad de datos de usuario. Determinar el mínimo valor de HS-DSCH Ec/Ior para lograr el BLER objetivo en cada modelo de canal y observar en qué modelo de canal la tecnología HSDPA presenta mejor desempeño para la BER y BLER en función del HS-DSCH Ec/Ior.
2	Evaluación del número de retransmisiones para los diferentes modelos de canal.	SNR (Ior/loc) = 10 dB, loc = - 60 dBm/Hz, HS-DSCH = -3 dB, configuración de las categorías 5 para FRC (tabla 4.1), modulación QPSK, potencia de Nodo B = 1 vatio.	Modelo de canal (PA, PB3, VA30, VA120).	Observar el número de retransmisiones ocurridas en un segundo en una comunicación HSDPA entre un Nodo B y un UE, en cada modelo de canal y determinar cuál de estos presenta menor número de retransmisiones.
3	Evaluación del <i>throughput</i> para los diferentes modelos de canal en función del SNR.	loc = - 60 dBm/Hz, HS-DSCH Ec/Ior = -3 dB, configuración de la categorías 5 para FRC (tabla 4.1), modulación QPSK, potencia de Nodo B = 1 vatio.	Relación Señal a Ruido (SNR), Modelo de canal (PA, PB3, VA30, VA120).	Observar el comportamiento del <i>throughput</i> para los diferentes modelos de canal en función de la SNR y determinar en cuál de estos el <i>throughput</i> es mayor. Determinar el mínimo valor de la SNR donde se obtiene el BLER objetivo en cada modelo de canal.

Tabla 4. 8. Tabla de experimentos, parámetros y objetivos para la sección 4.2.

4.2.1 Experimento 1

Este experimento se realizó con el propósito de mirar el comportamiento del *throughput*, observar el desempeño de la BER y BLER y determinar el mínimo valor del HS-DSCH Ec/Ior para lograr la BLER objetivo en cada modelo de canal en la tecnología HSDPA. Los resultados de las simulaciones para los diferentes modelos de canal bajo la configuración de los parámetros de la tabla 4.8 se encuentran así: PA3 (tabla 4.5), PB3 (tabla 4.9), VA30 (tabla 4.10), VA120 (tabla 4.11).

²⁰ La evaluación y análisis para FRC y VRC en los diferentes modelos de canal se realizó con la categoría 5, debido a que en ésta se transmite bloques de datos de usuario consecutivamente cada 2 ms, soporta 6 procesos HARQ en paralelo y su *buffer* virtual es de 9600 bits. Por esto se miró como la categoría más viable entre las 6 primeras para este análisis.

Iteración	Bloques enviados	Bloques Recibidos	HS-DSCH Ec/Ior (dB)	Throughput (kbps)	BER	BLER
1	499	499	-10	385.01002	0.14382419	0.75951904
2	499	499	-8	577.51503	0.093598815	0.63927856
3	499	499	-6	837.39679	0.060515159	0.47695391
4	499	499	-5.5	879.10621	0.053366571	0.4509018
5	499	499	-5	965.73347	0.0457949	0.39679359
6	499	499	-4.5	1017.0681	0.036043981	0.36472946
7	499	499	-4	1119.7375	0.02609654	0.3006012
8	499	499	-3.5	1244.8657	0.017109171	0.22244489
9	499	499	-3	1360.3687	0.01011079	0.1503006
10	499	499	-2.5	1430.9539	0.0059638327	0.10621442
11	499	499	-2	1511.1643	0.0017048463	0.056112224
12	499	499	-1.5	1594.5832	9.9511953e-005	0.004008016
13	499	499	-1	1601	0	0
14	499	499	-0.5	1601	0	0
15	499	499	0	1601	0	0

Tabla 4. 9. Resultados de simulación para el modelo de canal PB3. Parámetros (Tabla 4.8)

Iteración	Bloques enviados	Bloques Recibidos	HS-DSCH Ec/Ior (dB)	Throughput (Kbps)	BER	BLER
1	499	499	-10	381.8016	0.13767573	0.76152305
2	499	499	-8	580.72345	0.09263186	0.63727455
3	499	499	-6	811.72946	0.059341043	0.49298597
4	499	499	-5.5	869.48096	0.05249412	0.45691383
5	499	499	-5	949.69138	0.044536293	0.40681363
6	499	499	-4.5	1045.9439	0.036855097	0.34669339
7	499	499	-4	1126.1543	0.029199561	0.29659319
8	499	499	-3.5	1212.1543	0.023183156	0.24248497
9	499	499	-3	1315.4509	0.016348124	0.17835671
10	499	499	-2.5	1395.6613	0.011461399	0.12825651
11	499	499	-2	1450.2044	0.0073156932	0.094188377
12	499	499	-1.5	1520.7896	0.0039635799	0.0501002
13	499	499	-1	1549.6653	0.0021560923	0.032064128
14	499	499	-0.5	1568.9158	0.0015715378	0.02004008
15	499	499	0	1575.3327	0.0012567296	0.016032064

Tabla 4. 10. Resultados de simulación para el modelo de canal VA30. Parámetros (tabla 4.8).

Iteración	Bloques enviados	Bloques Recibidos	HS-DSCH Ec/Ior (dB)	Throughput (kbps)	BER	BLER
1	499	499	-10	391.42685	0.12992944	0.75551102
2	499	499	-8	587.14028	0.089341707	0.63326653
3	499	499	-6	802.10421	0.0059116985	0.498998
4	499	499	-5.5	856.64729	0.0053025476	0.46492986
5	499	499	-5	888.73146	0.0046470205	0.44488978
6	499	499	-4.5	959.31663	0.035786126	0.4008016
7	499	499	-4	1049.1523	0.026525255	0.3004468938
8	499	499	-3.5	1174.2806	0.018947326	0.26653307
9	499	499	-3	1334.7014	0.010558907	0.16633267
10	499	499	-2.5	1450.2044	0.0058117484	0.094188377
11	499	499	-2	1514.3727	0.025028195	0.054108216
12	499	499	-1.5	1565.7074	0.0011008901	0.022044088
13	499	499	-1	1584.9579	0.0003723875	0.01002004
14	499	499	-0.5	1591.3747	0.00014269639	0.006012024
15	499	499	0	1597.7916	5.3198214e-005	0.002004008

Tabla 4. 11. Resultados de simulación para el modelo de canal VA120. Parámetros (tabla 4.8).

La figura 4.7 muestra el comportamiento del *throughput* para los diferentes modelos de canal con base en los resultados de las tablas 4.5, 4.9, 4.10 y 4.11.

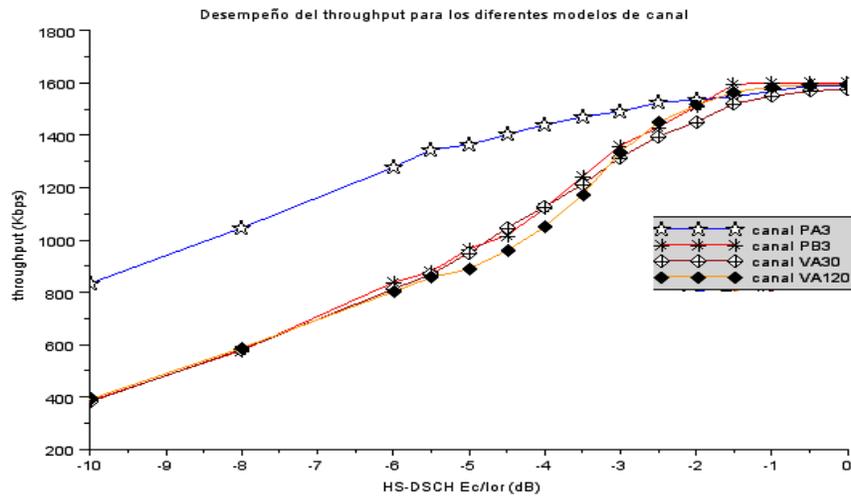


Figura 4. 7. Desempeño del *throughput* en función del HS-DSCH Ec/Ior para los diferentes modelos de canal.

La figura 4.7 muestra como el valor del *throughput* se incrementa de manera proporcional con el valor del HS-DSCH Ec/Ior en los diferentes modelos de canal. Para los modelos de canal PB3, VA30 y VA120 el desempeño del *throughput* es muy similar. El modelo de canal PA3 es el que mejor comportamiento presenta con respecto a la velocidad de transmisión de datos de usuario en el rango de valores de HS-DSCH Ec/Ior que van desde los -10 dB hasta -2 dB. Para un alto valor del HS-DSCH Ec/Ior, los cuatro modelos de canal logran una buena transmisión de datos de usuario, superior a los 1500 Kbps. Así se concluye que la tecnología HSDPA es robusta para UE's que tienen desplazamientos a altas velocidades esto debido a gran parte a HARQ ya que es una técnica que ayuda a mitigar los efectos de la rápida variación del canal de comunicaciones [27].

A partir de los resultados obtenidos en las simulaciones para cada modelo de canal, los cuales se muestran en las tablas 4.5, 4.9, 4.10 y 4.11, se elaboraron imágenes donde se observa el desempeño de la BER y BLER, mostrados en la figura 4.8 y 4.9 respectivamente.

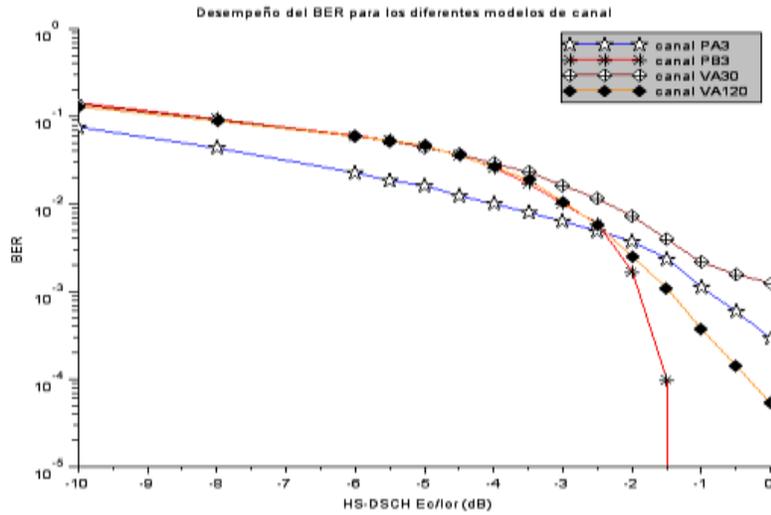


Figura 4. 8. Desempeño de la BER en función del HS-DSCH E_c/I_{or} para los diferentes modelos de canal.

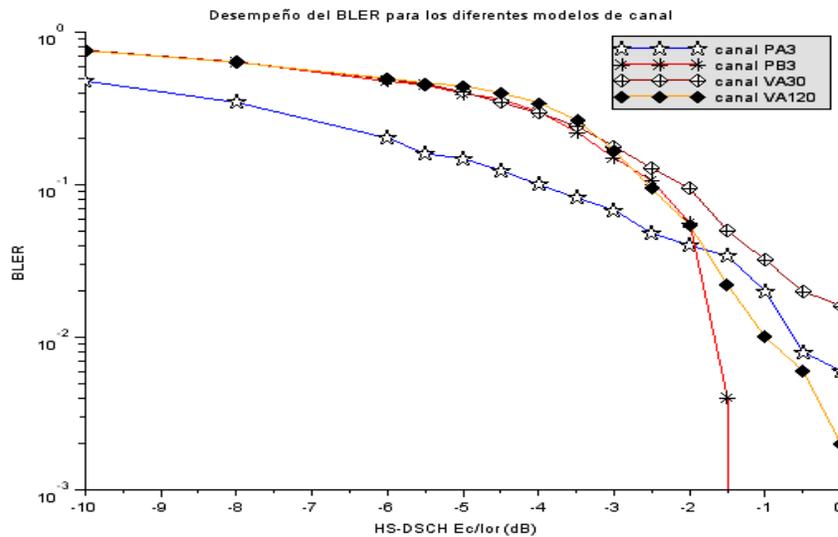


Figura 4. 9. Desempeño de la BLER en función del HS-DSCH E_c/I_{or} para los diferentes modelos de canal.

Una BLER menor al 10% se logra en el modelo de canal PA3 con un valor en el HS-DSCH E_c/I_{or} igual a -3.5 dB, en el modelo de canal PB3 con una valor igual a -2 dB, en el modelo de canal VA30 con un valor igual a -2 dB y para el modelo de canal VA120 con un valor igual a -2.5 dB, esto muestra un mejor desempeño de la BER y BLER en el modelo de canal PA3. En la tabla 4.9 se observa que en el modelo de canal PB3 se consigue una transmisión de datos de usuario libre de errores desde un valor de HS-DSCH E_c/I_{or} igual a -1 dB, esto significa que este modelo alcanza el mejor desempeño de la BER y BLER siempre y cuando se tenga una buena cantidad de potencia en el canal HS-DSCH (80 %). Si se tiene una buena potencia de señal en recepción se puede aprovechar las ventajas del recepto *Rake* ya que los parámetros de retardo y atenuación son compensados, haciendo un buen uso de la cantidad de dispersión ya que se compensan las diferentes señales

multitrayecto y se obtiene una señal más robusta, aunque esto se logra si el UE se desplaza a una baja velocidad.

4.2.2 Experimento 2

Este experimento se realizó con el propósito de observar el número de retransmisiones ocurridas en un segundo para una comunicación HSDPA entre un Nodo B y un UE en cada modelo de canal, y determinar cuál de estos presenta menor número de retransmisiones. La tecnología HSDPA se basa en el envío de bloques de datos denominados TTI's, los cuales tienen una duración de 2 ms. Cuando un bloque de datos de usuario no es decodificado correctamente en el receptor, éste pide una retransmisión del paquete completo. Un UE categoría 5 transmite 6 procesos HARQ con FRC [25], la ventana de transmisión empieza en el proceso número 0 hasta llegar al número 5 y se vuelve a repetir. Si para algún bloque de datos perteneciente a un proceso HARQ se envía un NACK, este bloque se vuelve a retransmitir en la próxima ventana de transmisión. En las figuras 4.10, 4.11, 4.12, 4.13 se muestran las imágenes donde se observa en la parte superior la ventana de transmisión²¹ para el UE categoría 5 y en la parte inferior el número de retransmisiones para cada modelo de canal ocurridas en un segundo, las pruebas se realizaron bajo los parámetros mencionados en la tabla 4.8.

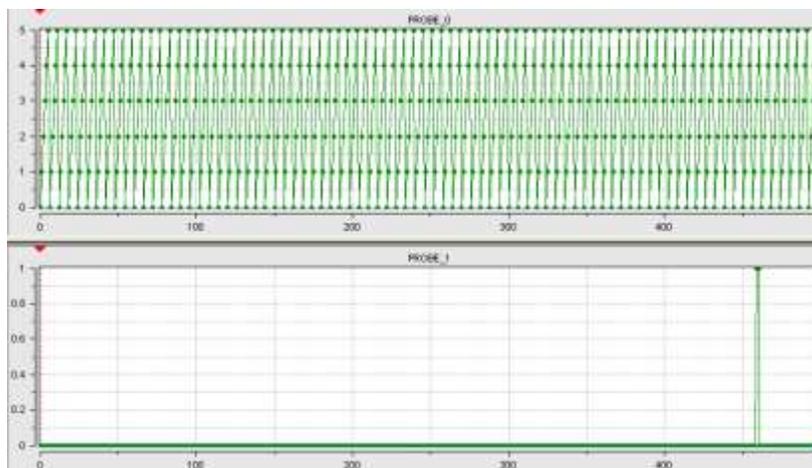


Figura 4. 10. Parte superior ventana de transmisión HARQ e inferior retransmisiones para el modelo de canal PA3.

²¹ La ventana de transmisión para un UE categoría 5 con FRC transmite desde el proceso cero hasta el cinco (mostrado en el eje de las ordenadas) y la secuencia se repite. Para el experimento 2 de esta sección se transmiten 499 bloques de datos de usuario (indicados en el eje de la abscisas) para observar el número de retransmisiones.

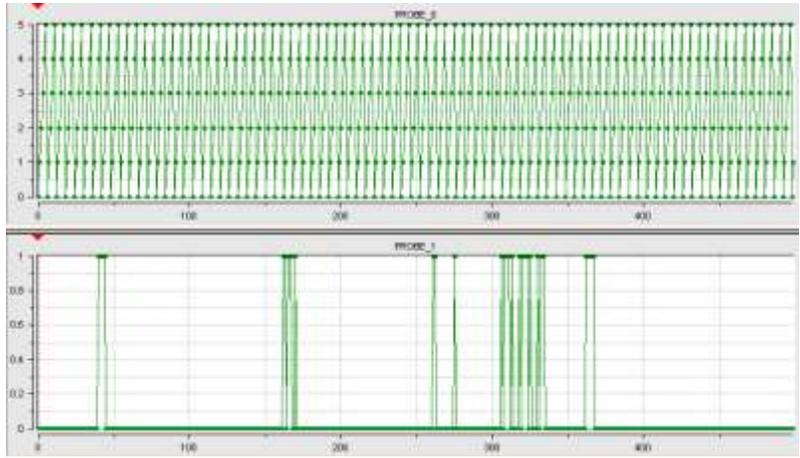


Figura 4. 11. Parte superior ventana de transmisión HARQ e inferior retransmisiones para el modelo de canal PB3.

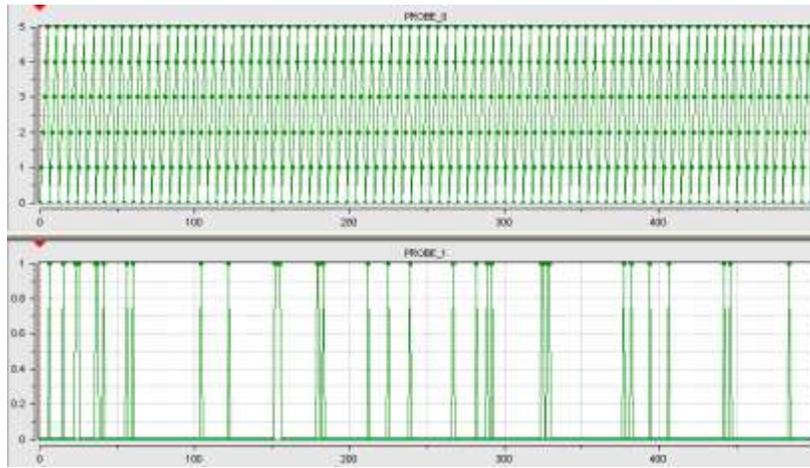


Figura 4. 12. Parte superior ventana de transmisión HARQ e inferior retransmisiones para el modelo de canal VA30.

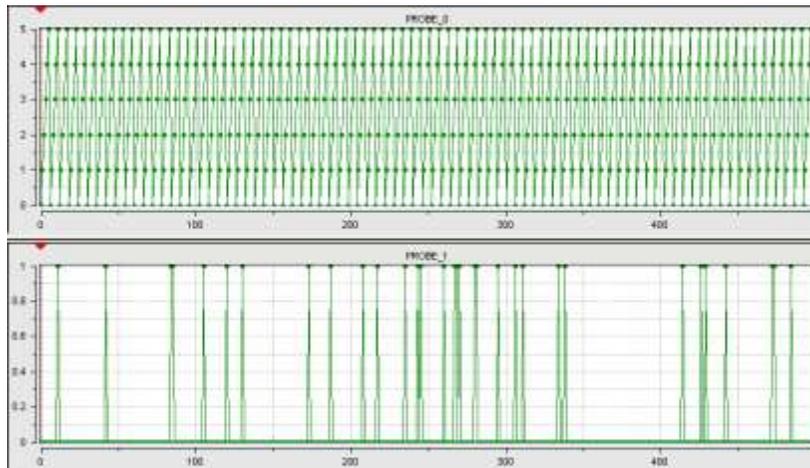


Figura 4. 13. Parte superior ventana de transmisión HARQ e inferior retransmisiones para el modelo de canal VA120.

La figura 4.10, muestra que en el modelo de canal PA3 solo se presentó una retransmisión durante la comunicación HSDPA, esto concluye que la técnica HARQ es bastante robusta para este modelo de canal. La figura 4.11 indica el número de retransmisiones ocurridas en el modelo de canal PB3, aquí las retransmisiones son mayores con respecto al modelo de canal PA3, esto debido a que con un valor de HS-DSCH E_c/I_{or} no muy alto el canal PB3 es notablemente afectado por la multitrayectoria, presentándose 21 retransmisiones. En la figura 4.12 se observa el número de retransmisiones ocurridas en el modelo de canal VA30, se mira que estas son mayores que en los dos modelos anteriores, esto debido a que las características en el canal radio varían con mayor frecuencia, se presentan en total 32 retransmisiones. La figura 4.13 muestra el número de retransmisiones ocurridas en el modelo de canal VA120, se presentaron 33 de éstas, el número es similar a las del modelo de canal VA30, esto debido a que en ambos modelos de canal se tienen las mismas cantidades de señales multitrayecto, (retardos y atenuaciones) a excepción de la velocidad de desplazamiento del UE, que es mucho mayor (120 km/hora) lo que hace que las características del canal radio varíen con mucha rapidez que en los modelos anteriores, aun así la robustez de la tecnología HSDPA es bastante robusta gracias al pequeño valor del TTI (2 ms).

4.2.3 Experimento 3

Este experimento se realizó con base en los parámetros de la tabla 4.8, con el propósito de observar el comportamiento del *throughput* en los diferentes modelos de canal para observar en cuál de estos se comporta mejor y determinar el mínimo valor de la SNR para lograr la BLER objetivo para cada modelo de canal. Se tomaron valores de 0, 5, 10, 15 y 20 dB para observar la velocidad de transmisión de datos de usuario que se recibe en un UE y se observa en que valor de SNR se consigue el BLER objetivo para cada uno de los modelos de canal. Los resultados son útiles para ver la experiencia que tiene el usuario en cada modelo de canal variando la potencia de la señal de transmisión. En la tabla 4.12 se muestran los datos obtenidos en esta simulación.

Iteración	Bloques enviados	Bloques Recibidos	Modelo de canal	SNR	Throughput	BER	BLER
1	499	499	PA3	0	747.56112	0.084787314	0.53306613
2	499	499	PA3	5	1276.9499	0.025187164	0.20240481
3	499	499	PA3	10	1491.9138	0.0063499892	0.068136273
4	499	499	PA3	15	1588.1663	0.00076918359	0.0080160321
5	499	499	PA3	20	1594.5832	0.00021341872	0.004008016
6	499	499	PB3	0	737.93587	0.081185482	0.53907816
7	499	499	PB3	5	1074.8196	0.032582341	0.32865731
8	499	499	PB3	10	1360.3687	0.01011079	0.1503006
9	499	499	PB3	15	1456.6212	0.0041413245	0.090180361
10	499	499	PB3	20	1485.497	0.0029077518	0.072144289
11	499	499	VA30	0	670.55912	0.089825497	0.58116232
12	499	499	VA30	5	1007.4429	0.042066644	0.37074148
13	499	499	VA30	10	1315.4509	0.016348124	0.17835671
14	499	499	VA30	15	1424.5371	0.0079271598	0.11022044
15	499	499	VA30	20	1482.2886	0.0053360938	0.074148297
16	499	499	VA120	0	693.01804	0.089366741	0.56713427
17	499	499	VA120	5	959.31663	0.041815048	0.4008016
18	499	499	VA120	10	1334.7014	0.010558907	0.16633267
19	499	499	VA120	15	1482.2886	0.0039466816	0.074148297
20	499	499	VA120	20	1491.9138	0.0031186671	0.068136273

Tabla 4. 12. Resultados de simulación en función del SNR para cada modelo de canal con FRC. Parámetros (tabla 4.8)

Los resultados de la tabla 4.12 muestran que la BLER objetivo para el modelo de canal PA3 se logra desde una SNR de 10 dB y un máximo *throughput* de 1594.5832 Kbps con una SNR de 20 dB. En el modelo de canal PB3 la BLER objetivo se logra desde una SNR de 15 dB y un máximo *throughput* de 1485.497 Kbps con una SNR de 20 dB. En el modelo de canal VA30 el BLER objetivo se logra desde una SNR de 20 dB y un máximo *throughput* de 1482.2886 Kbps en el mismo valor de SNR. En el modelo de canal VA120 la BLER objetivo se logra desde una SNR de 15 dB y un máximo *throughput* de 1491.9138 Kbps con una SNR de 20 dB. Se concluye que el modelo de canal PA3 es el más robusto para un valor de HS-DSCH de -3 dB, debido a que para todos los valores de SNR, éste modelo de canal es el que mejor comportamiento presenta respecto al valor del *throughput* y además, consigue la BLER objetivo con el menor valor de SNR con respecto a los demás canales.

Los resultados indican que el desempeño para los modelos de canal PB3, VA30 y VA120 es aceptable, gracias a esto se concluye que la tecnología HSDPA es robusta en los modelos de canal que son afectados por la multitrayectoria y altas velocidades de desplazamiento (UE). En la figura 4.14 se observa el comportamiento *throughput* en función de SNR para los diferentes modelos de canal definidos por la ITU y recomendados por el 3GPP. En esta figura se muestra que el mejor comportamiento del *throughput* se presenta en el modelo de canal PA3 para todos los valores de SNR y se observa un desempeño similar referente al *throughput* en los modelos de canal PB3, VA30 Y VA120, estos resultados son similares a [28].

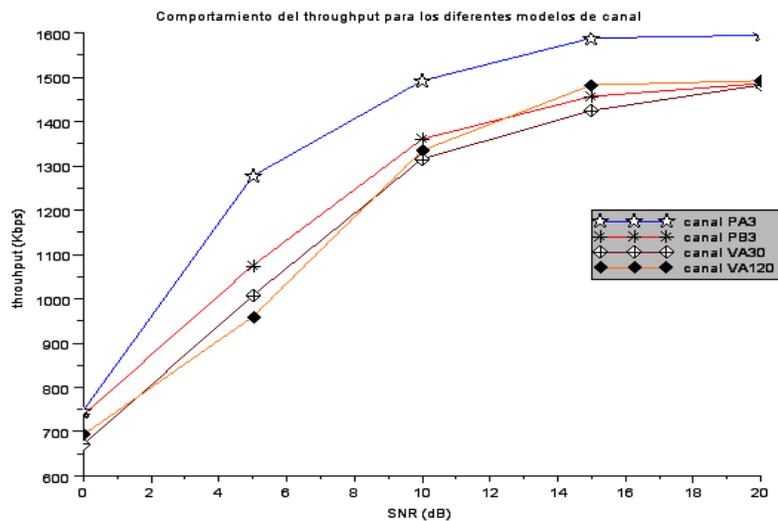


Figura 4. 14. Desempeño del *throughput* para los diferentes modelos de canal de la ITU y recomendados por 3GPP.

4.3 EVALUACIÓN Y ANÁLISIS DE VRC²²

La simulación con VRC se realiza para evaluar y analizar el desempeño de HSDPA cuando los parámetros como son: el CQI, el TBS, el número de canales físicos que se transmiten en un TTI, el

²² Los parámetros para la evaluación y análisis de VRC se determinaron de acuerdo a: valor de HS-DSCH E_c/I_{or} se determinó de acuerdo a los resultados de la sección 4.1 (experimento 1) y los valores de SNR e I_{oc} se determinaron de acuerdo a pruebas preliminares. Todas las pruebas en conjunto con el esquema HARQ CC.

tipo de modulación empleada y la potencia en el canal HS-DSCH, toman diferentes valores a través del tiempo, empleando así la técnica AMC.

En WCDMA la técnica de adaptación al canal radio es el control rápido de potencia, el cual proporciona mayor potencia de transmisión para los usuarios con condiciones de canal radio desfavorable. HSDPA utiliza AMC para adaptación al canal radio. Para un UE que soporta 15 códigos la potencia en el canal HS-DSCH se mantiene constante. Para UE's con 10 códigos y 5 códigos se maneja el concepto de reajuste de potencia en el canal HS-DSCH si los valores del CQI se sobrepasan de 22 y 25 respectivamente, si lo dicho anteriormente ocurre, se le indica al nodo B reducir la potencia del canal HS-DSCH con respecto a la recibida anteriormente en este canal por un factor Δ como se explico en la sección 1.5.

Los experimentos o pruebas que se realizaron para evaluar HSDPA con VRC y analizar el desempeño de AMC se muestran en la tabla 4.13

Número	Experimento	Parámetros fijos de simulación	Parámetro variable	Objetivo
1	Evaluación del comportamiento del <i>throughput</i> para los UE categorías 1, 3 y 5 con la técnica AMC.	Inicialmente HS-DSCH Ec/Ior () = -3 dB (puede variar si existe reajuste de potencia por altos valores del CQI), Ioc = -73 dBm/Hz, SNR = 20 dB, esquema HARQ CC.	CQI y parámetros del formato de transporte (TBS, modulación, número de canales físicos que se transmiten en un TTI, para altos valores mayores a 22 se presenta reajuste de potencia para el canal HS-DSCH)	Observar el comportamiento del <i>throughput</i> en las categorías 1, 3 y 5 y comparar este resultado con el valor de velocidad de transmisión de datos de usuario teórico, mirar que tanto difieren. Mirar los histogramas del CQI para cada una de las categorías de UE 1,3 y 5 (resultados del experimento) y mirar la diferencia entre estos.
2	Evaluación del comportamiento del CQI para diferentes valores de SNR en el UE categoría 5.	Inicialmente HS-DSCH Ec/Ior () = -3 dB (puede variar si existe reajuste de potencia por altos valores del CQI), Ioc = -73 dBm/Hz, esquema HARQ CC.	CQI y parámetros del formato de transporte (TBS, modulación, número de canales físicos que se transmiten en un TTI, para altos valores mayores a 22 se presenta reajuste de potencia para el canal HS-DSCH), SNR	Observar el comportamiento del CQI y mirar cómo cambian los parámetros del formato de transporte para diferentes valores de SNR y concluir para que valores de SNR se puede aprovechar las ventajas que ofrece AMC.
3	Evaluar el desempeño de BER y BLER en el UE categoría 1.	Inicialmente HS-DSCH Ec/Ior () = -3 dB (puede variar si existe reajuste de potencia por altos valores del CQI), Ioc = -73 dBm/Hz, SNR = 20 dB, esquema HARQ CC.	CQI y parámetros del formato de transporte (TBS, modulación, número de canales físicos que se transmiten en un TTI, para altos valores mayores a 22 se presenta reajuste de potencia para el canal HS-DSCH). HS-DSCH Ec/Ior	Observar el desempeño del BER y BLER utilizando la técnica AMC, forzando a aumentar la potencia del canal HS-DSCH sin tener en cuenta las indicaciones que están implícitas (formatos de transporte adecuados) en el CQI.

Tabla 4. 13. Tabla de experimentos, parámetros y objetivos para la sección 4.3.

4.3.1 Experimento 1

En este experimento las simulaciones se realizaron con los parámetros de la tabla 4.13, se manejan los UE 1, 3 y 5, ya que trabajan con los patrones de transmisión "X00", "X0", "X" respectivamente. La tabla 2.1 muestra la velocidad de transmisión de datos de usuario teóricas, para estas categorías son de 1220, 1830, 3650 Kbps respectivamente, los cuales fueron obtenidos en laboratorio en donde el canal radio se encuentra libre de ruido y la señal no es afectada por multitrayectoria, además que se transmite con un CQI con un valor igual a 30. Los resultados obtenidos para este experimento se muestran en la tabla 4.14.

Iteración	Bloques enviados	Bloques Recibidos	Categoría UE	Patron de transmisión	Throughput
1	499	499	1	"X00"	505.38677
2	499	499	3	"X0"	754.59018
3	499	499	5	"X"	1510.1293

Tabla 4. 14. Resultados del *throughput* para las categorías 1, 3 y 5 con la técnica AMC. Parámetros experimento 1 (tabla 4.13).

Los resultados de la tabla 4.14 muestran los valores del *throughput* que se obtuvieron para las categorías 1, 3 y 5. Se observa que la categoría 1 alcanza un valor igual a 505.38677 Kbps. La categoría 3 alcanza un valor igual a 754.59018 Kbps. la categoría 5 alcanza un valor igual a 1510.1293. Datos bastante aceptables. La tabla 4.15 muestra la relación entre el *throughput* y la tasa de transmisión de datos teórica para cada una de las categorías analizadas.

Categoría UE	Throughput (Kbps)	Tasa de transmisión de datos teórica (Kbps)	Relación
1	505.38677	1220	$505.38677/1220 = 0.4142515$
3	754.59018	1830	$754.59018/1830 = 0.4123444$
5	1510.1293	3650	$1510.1293/3650 = 0.4137341$

Tabla 4. 15. Relación del *throughput* con la tasa de datos teórica para las categorías 1, 3 y 5.

Los resultados de la tabla 4.15 muestran que el valor del *throughput* fue aproximadamente de 41% respecto a la tasa teórica de transmisión de datos. Se concluye que HSDPA maneja un valor alto de *throughput* teniendo en cuenta las altas perturbaciones que sufre el canal radio de una red celular.

La calidad del canal radio a lo largo del tiempo es indicada por el UE con diferentes valores de CQI que envía, estos se transmiten al Nodo B para que éste transmita la información de datos de usuario con unos parámetros de formato de transporte adecuados para mantener la integridad de los datos. En la figura 4.15 se muestran los histogramas de comportamiento del CQI para las categorías 1, 3 y 5 de izquierda a derecha respectivamente, en una comunicación HSDPA de 1 segundo.

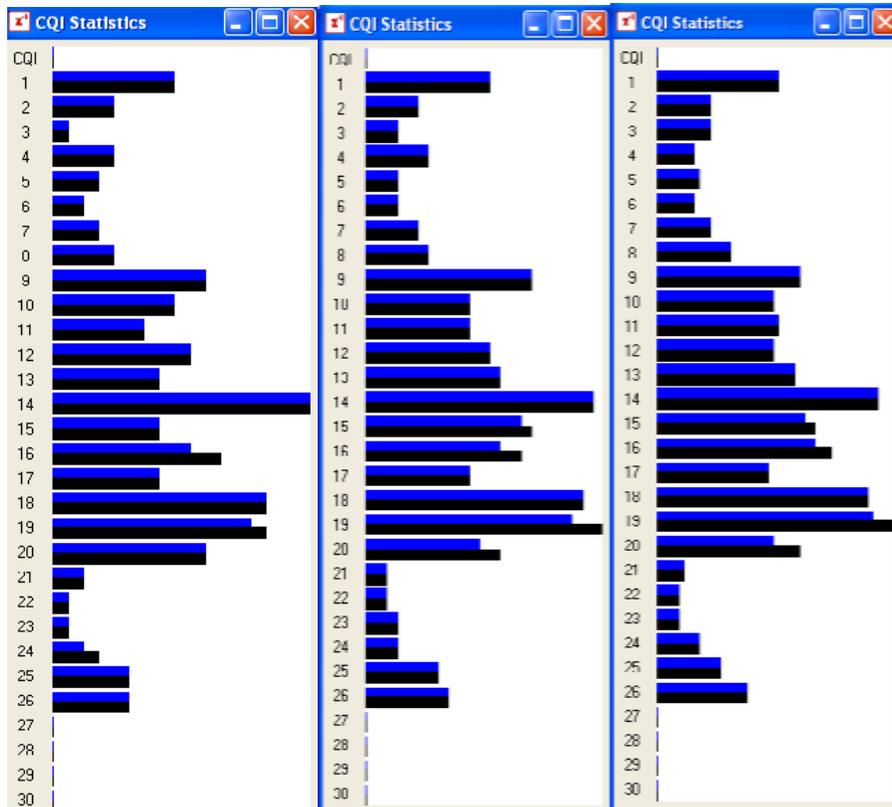


Figura 4. 15. Diagramas estadísticos del comportamiento del CQI para las categorías 1, 3 y 5.

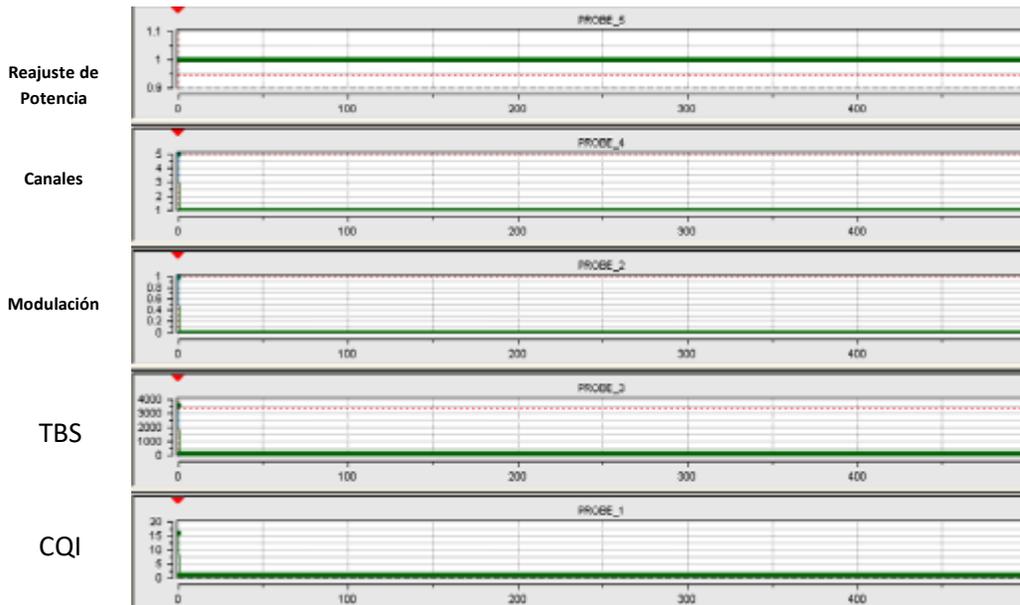
En los histogramas de comportamiento del CQI mostrados en la figura 4.15 se observa que los valores que toma el CQI son muy similares en las tres categorías, esto concluye que el indicador de canal entrega valores de acuerdo únicamente a las condiciones del canal radio, así como del modelo, los cuales pueden ser PA3, PB3, VA30 y VA120. En las gráficas, la barra negra indica la magnitud del número de paquetes transmitidos para un determinado valor de CQI y la barra azul indica la magnitud del número de paquetes decodificados correctamente para este mismo valor.

4.3.2 Experimento 2

Este experimento se realizó con los parámetros mostrados en la tabla 4.13. El propósito de éste es observar cómo se comporta el CQI y así observar cómo cambian los parámetros del formato de transporte para diferentes valores de SNR.

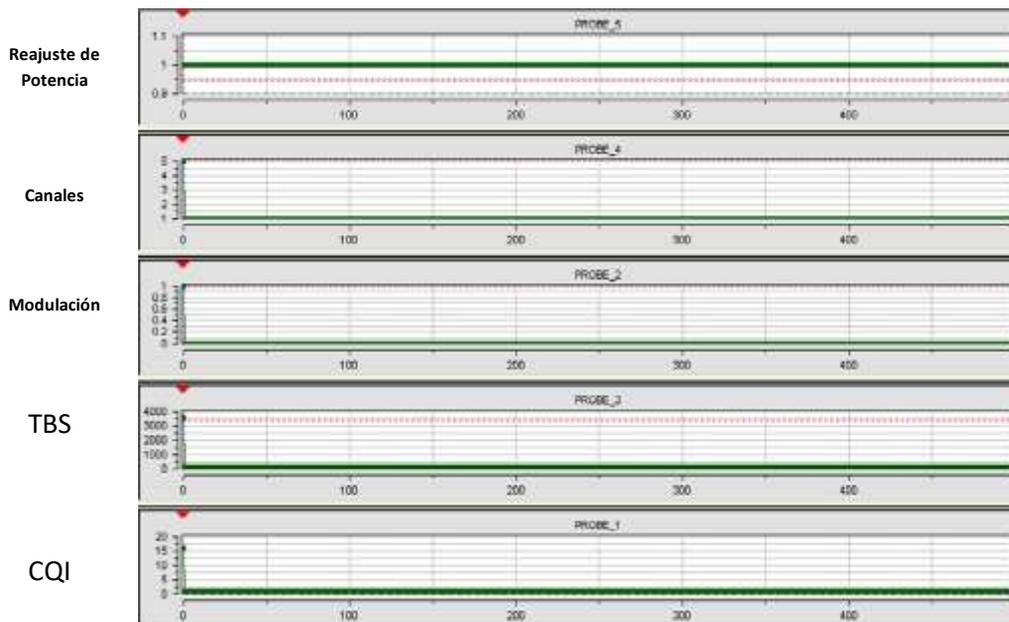
Los valores reportados del CQI por el UE al Nodo B se basan en la potencia recibida de señal del CPICH. Cada 2 ms se le indica al Nodo B con qué formato de transporte debe enviar el siguiente bloque de datos de usuario. Con el propósito de observar el desempeño del CQI y los cambios en los parámetros de formato de transporte, se simuló valores de SNR igual a 0 dB, 5 dB, 15 dB, 20 dB, los resultados de simulación se muestran en las figuras 4.16, 4.17, 4.18, 4.19, 4.20 respectivamente. Cada figura muestra el comportamiento en varias ventanas en orden descendente así:

- Reajuste de la potencia de referencia (especificado en veces).
- Número de canales físicos (especifica el número de HS-PSDCH que llevan la información en un TTI).
- Tipo de modulación (un cero indica QPSK y un uno 16QAM)
- TBS (especificado en bits).
- Valor del CQI (valor que le transmite el UE al Nodo B).



Paquetes transmitidos

Figura 4. 16. Desempeño del CQI y cambios en los parámetros de formato de transporte para SNR de 0 dB.



Paquetes transmitidos

Figura 4. 17. Desempeño del CQI y cambios en los parámetros de formato de transporte para SNR de 5 dB.

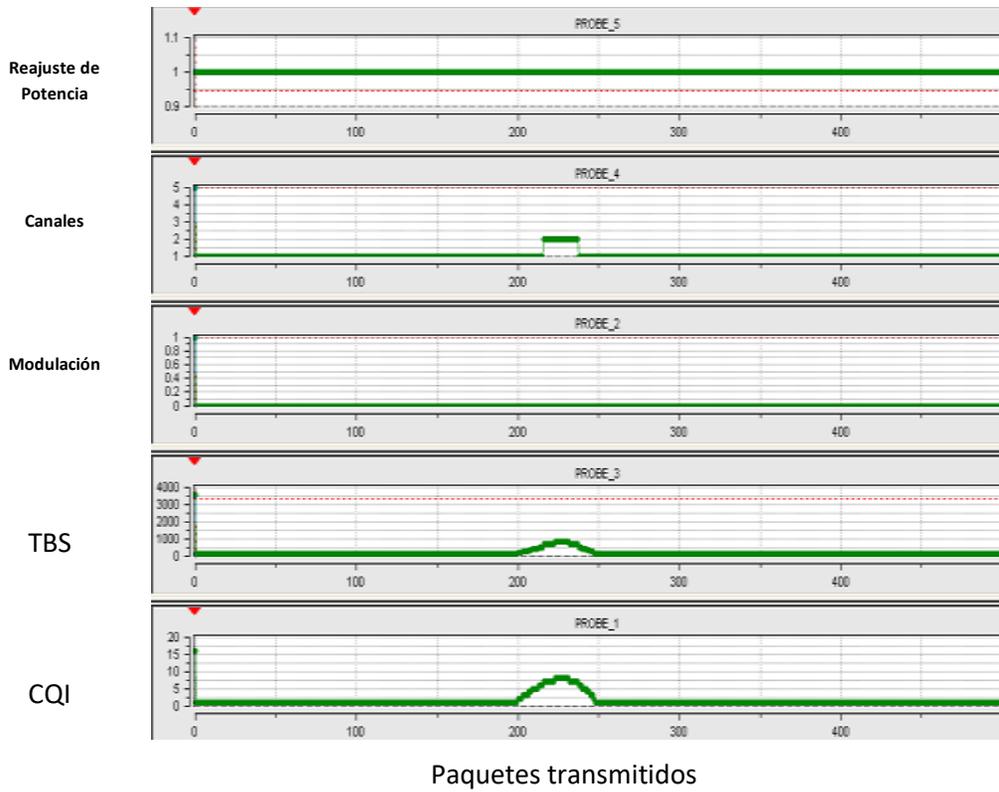


Figura 4. 18. Desempeño del CQI y cambios en los parámetros de formato de transporte para SNR de 10 dB.

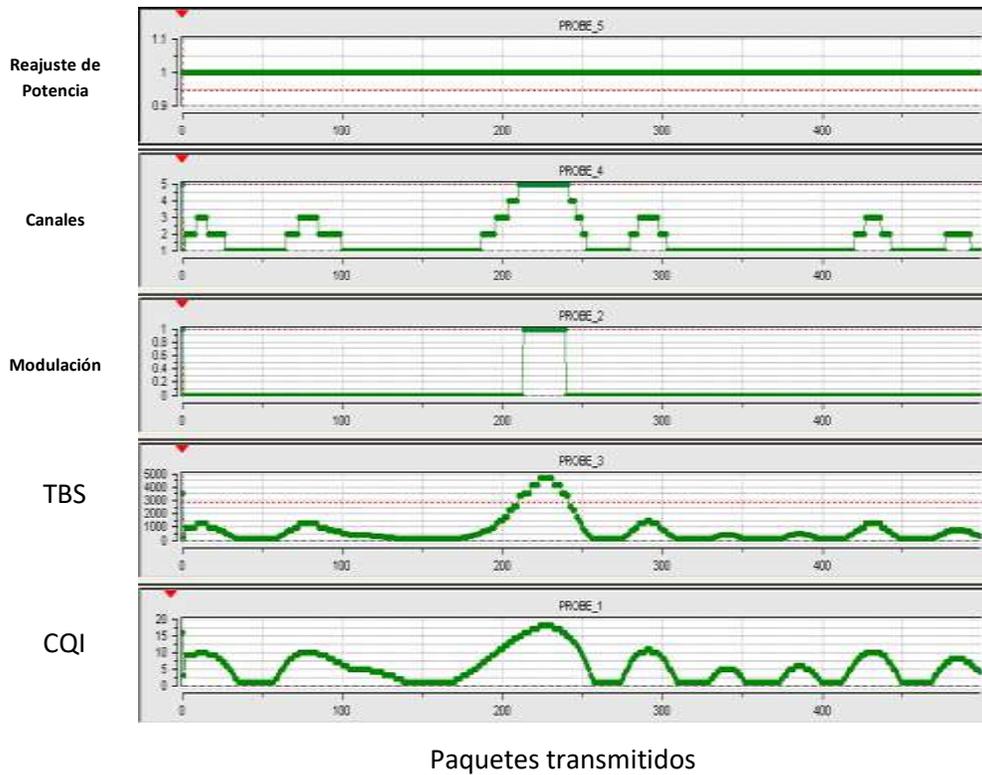


Figura 4. 19. Desempeño del CQI y cambios en los parámetros de formato de transporte para SNR de 15 dB.

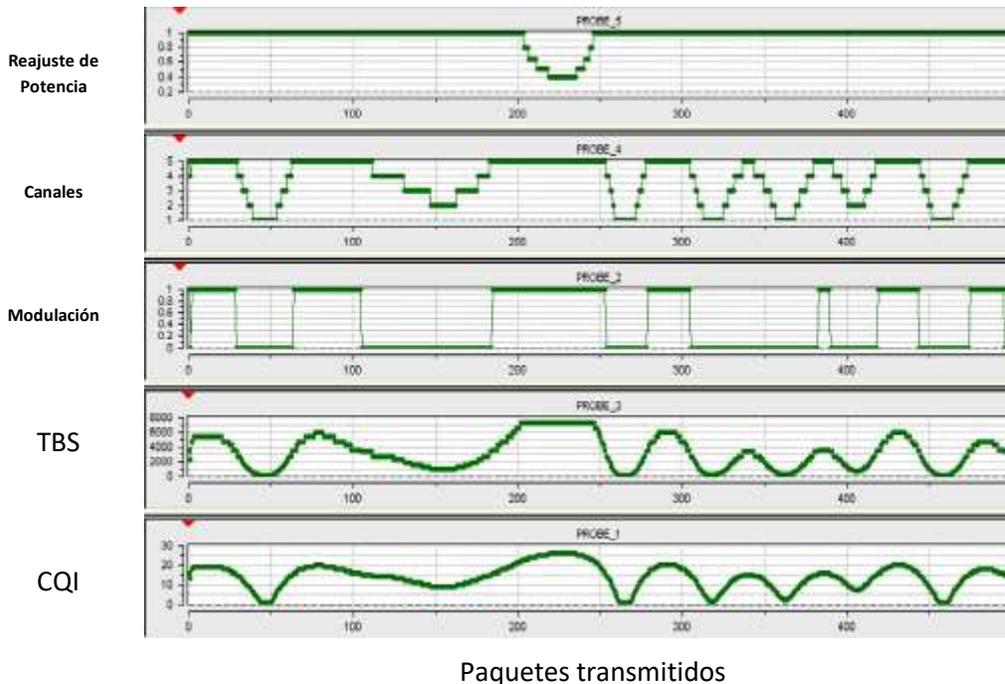


Figura 4. 20. Desempeño del CQI y cambios en los parámetros de formato de transporte para SNR de 20 dB.

La figura 4.16 muestra que para un valor de SNR de 0 dB, no se logra una descarga de datos de alta velocidad, debido a que el CQI no reporta un alto (se mantiene en uno), este permanece constante durante la comunicación (no confundir con 0 por el grosor de la línea), de esta manera el TBS siempre transmite con un valor igual a 137 bits manteniendo una tasa de codificación robusta ($137/960 = 1/7$)²³ para mantener la integridad de la información. Los bloques de datos de usuario se modulan en QPSK, se transmite sobre un solo canal físico, y no se realiza reajuste de potencia en el canal HS-DSCH, lo anterior debido a que no se tiene una buena potencia en la señal respecto al ruido presente en el canal radio.

La figura 4.17 muestra que para un valor de SNR de 5 dB tampoco se logra una descarga de datos de alta velocidad, debido a que el CQI se mantiene en uno, igualmente que en el caso anterior permanece constante durante la comunicación con un valor igual a 1 (no confundir con 0 por grosor de la línea) que en algunos casos puede subir a 2, pero nunca sobrepasa un valor igual a 5, de esta manera el TBS siempre transmite con un valor de 137 bits como se muestra en la tabla 1.1 manteniendo así una tasa robusta para mantener la integridad de la información. Los datos de usuario se modulan en QPSK, se transmite sobre un solo canal físico, y no se realiza reajuste de potencia en el canal HS-DSCH, lo anterior debido a que no se tiene una buena potencia en la señal respecto al ruido presente en el canal radio.

²³ Con Modulación QPSK un bloque de transporte contiene 960 bits, esto se obtiene dividiendo el resultado de la ecuación (1.2) igual a 480000 bits entre los 500 TTI que se transmiten en un segundo. Si el TBS es de 137 bits, los bits de codificación son (960 - 137) lo que da una relación de 1/7, esto se repite para todos los casos mostrados en la tabla 1.1. Con modulación 16QAM un bloque de transporte contiene 1920 bits, pero se maneja el mismo concepto.

La figura 4.18 muestra que para un valor de SNR de 10 dB el CQI envía valores con una magnitud de hasta 9 en una pequeña sección de TTI's, así se transmiten TBS's hasta de 931 bits (tabla 1.1), pero aun se mantiene una baja tasa de codificación (robusta) para mantener la integridad de la información, los bloques de datos de usuario se modulan en QPSK, se transmite hasta con 2 canales físicos, y no se realiza reajuste de potencia en el canal HS-DSCH, lo anterior debido a que no se tiene una buena potencia en la señal respecto al ruido presente en el canal radio.

La figura 4.19 muestra que para un valor de SNR de 15 dB se envían altos valores de CQI, hasta llegar a un valor igual a 18, así se transmiten TBS's hasta de 4664 bits (tabla 1.1), esto debido a que la relación SNR es suficientemente alta y así no se necesita que la tasa de codificación no sea tan robusta. Los bloques de datos de usuario se modulan en QPSK y 16QAM en una pequeña sección de TTI's, se transmite hasta con 5 canales físicos (máximos posibles en la categoría 5), pero no se realiza reajuste de potencia en el canal HS-DSCH.

La figura 4.20 muestra que para un valor de SNR igual a 20 dB se envían altos valores de CQI, por encima de 22, hasta un valor de 26, así se transmiten TBS's hasta de 7168 bits que es el máximo tamaño bloque de transporte para la categoría 5 (tabla 1.1), esto debido a que la potencia de la señal de radio es bastante alta y así la tasa de codificación no debe ser tan robusta para mantener la integridad de la información. Los bloques de datos de usuario se modulan en QPSK y 16QAM casi en proporciones iguales, se transmiten hasta con 5 canales físicos (máximos posibles en la categoría 5), y como el CQI toma valores mayores a 22 se realiza reajuste de potencia en el canal HS-DSCH.

Se concluye que la técnica AMC necesita altos valores de SNR (mayores a 15 dB) de esta manera se pueda aprovechar los beneficios de transmitir con multicódigo, modulación de alto orden y conseguir altos valores en la velocidad de datos.

4.3.3 Experimento 3

Este experimento se realizó con base en los parámetros de la tabla 4.12, con el propósito de observar el desempeño de la BER y BLER utilizando la técnica AMC, forzando a aumentar la potencia del canal HS-DSCH sin tener en cuenta las indicaciones que están implícitas en el CQI. Para obtener las curvas de BER/BLER se realizaron simulaciones con diferentes valores del HS-PDSCH E_c/I_{or} , para la categoría 1. En la tabla 4.16 se muestran los datos obtenidos y en la figura 4.21 y 4.22 se muestra gráficamente el desempeño de la BER y BLER.

Iteración	Bloques enviados	Bloques Recibidos	HS-DSCH E_c/I_{or} (dB)	Throughput (kbps)	BER	BLER
1	499	499	-10	197.84068	0.00018904532	0.0060240064
2	499	499	-8	280.62826	0	0
3	499	499	-6	366.16934	0	0
4	499	499	-5.5	397.44589	0	0
5	499	499	-5	402.7495	0.00042538954	0.017964072
6	499	499	-4.5	434.48397	1.5736243e-005	0.011976048
7	499	499	-4	469.19038	0	0
8	499	499	-3.5	494.14729	0.00013441777	0.005988024
9	499	499	-3	505.38677	0.00089892187	0.023952096
10	499	499	-2.5	524.29459	0.0019412944	0.035928144
11	499	499	-2	558.96894	0.00029842929	0.035928144
12	499	499	-1.5	578.3497	0.0054841747	0.065868263
13	499	499	-1	589.42485	0.0087632056	0.10179641
14	499	499	-0.5	611.8517	0.012034514	0.1257485
15	499	499	0	632.59519	0.014810581	0.1497006

Tabla 4. 16. Resultados de simulación para un UE categoría 1 con AMC. Parámetros experimento 2 (tabla 4.13).

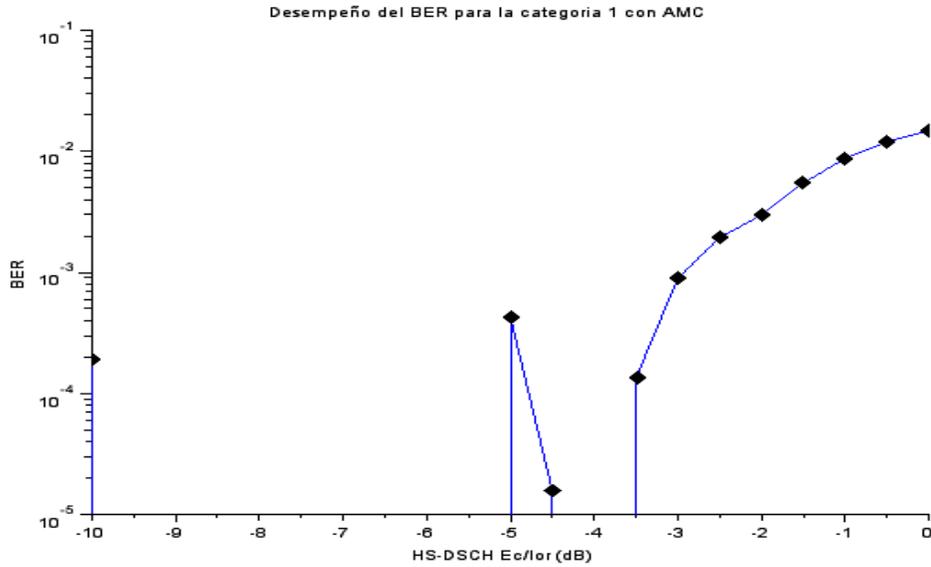


Figura 4. 21. Desempeño del BER en función del HS-DSCH Ec/Ior para la categoría 1 con AMC.

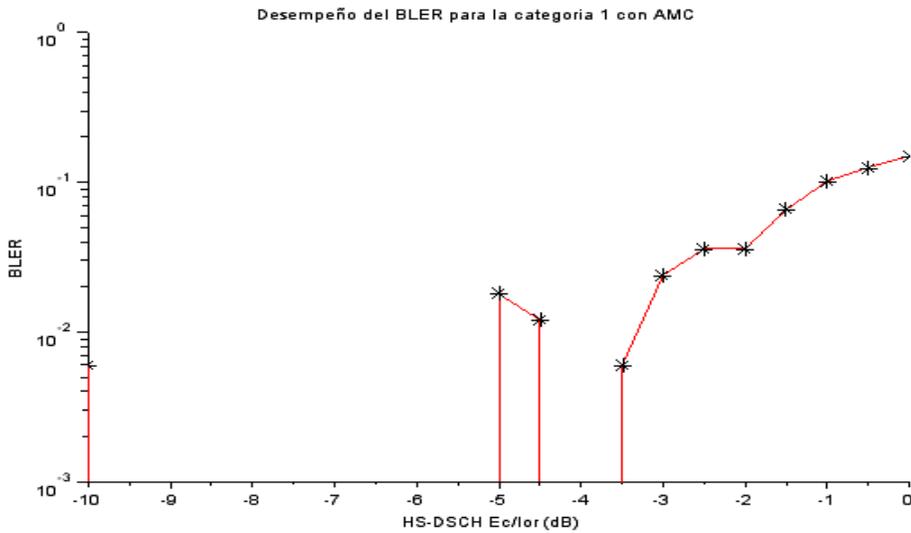


Figura 4. 22. Desempeño del BLER en función del HS-DSCH Ec/Ior para la categoría 1 con AMC.

Las figuras 4.21 y 4.22 muestran que en la adaptación al enlace radio utilizando la técnica AMC, el desempeño de la BER y BLER no son similares a las realizadas con parámetros fijos, esto debido a que en el Nodo B no puede ir incrementando la potencia del canal HS-DSCH (disminuyendo la potencia de transmisión en el resto de canales) sin tener en cuenta las indicaciones del CQI (ya que el canal puede estar muy ruidoso), pues el canal HS-DSCH mantiene relación directa con la potencia del canal CPICH como se mostró en la ecuación 1.5, esto genera que el UE envíe altos valores de CQI sin estar relacionados con las condiciones del canal radio, así se envía desde el Nodo B TBS's con un alto valor de bits con codificación de canal no tan robusta, generándose problemas en la transmisión de datos de usuario, además se tiene problemas con la señalización

ya que la potencia de transmisión de los demás canales de HSDPA es mínima, obteniéndose un mal desempeño de la BER y BLER como se muestra en las figuras 4.21 4.22 y la tabla 4.16.

4.4. Evaluación Y Análisis De HSDPA En VRC, Con Base En Los Diferente Modelos De Canal De La ITU Y Recomendados Por 3GPP.

Para observar el desempeño de la tecnología HSDPA con VRC para los diferentes modelos de canal propuestos por 3GPP se realizaron los experimentos mostrados en la tabla 4.17.

Número	Experimento	Parámetros fijos de simulación	Parámetro variable	Objetivo
1	Evaluación del comportamiento del CQI para los diferentes modelos de canal, en el UE categoría 5.	Inicialmente HS-DSCH Ec/Ior () = -3 dB (puede variar si existe reajuste de potencia por altos valores del CQI), Ioc = - 73 dBm/Hz, SNR = 20 dB, esquema HARQ CC.	CQI y parámetros del formato de transporte (TBS, modulación, número de canales físicos que se transmiten en un TTI, para altos valores mayores a 22 se presenta reajuste de potencia para el canal HS-DSCH)	Observar el comportamiento del CQI y mirar cómo cambian los parámetros del formato de transporte para los diferentes modelos de canal radio de la ITU que son recomendados por 3GPP.
2	Evaluar el desempeño del <i>throughput</i> para los UE categorías 5 en los diferentes modelos de canal, en función del SNR	Inicialmente HS-DSCH Ec/Ior () = -3 dB (puede variar si existe reajuste de potencia por altos valores del CQI), Ioc = - 73 dBm/Hz, esquema HARQ CC.	CQI y parámetros del formato de transporte (TBS, modulación, número de canales físicos que se transmiten en un TTI, para altos valores mayores a 22 se presenta reajuste de potencia para el canal HS-DSCH), SNR	Observar el desempeño del <i>throughput</i> en la categorías 5, para los diferentes modelos de canal radio de la ITU que son recomendados por 3GPP.
3	Evaluar los histogramas del comportamiento del CQI para los diferentes modelos de canal	Inicialmente HS-DSCH Ec/Ior () = -3 dB (puede variar si existe reajuste de potencia por altos valores del CQI), Ioc = - 73 dBm/Hz, SNR = 15 dB, esquema HARQ CC.	CQI y parámetros del formato de transporte (TBS, modulación, número de canales físicos que se transmiten en un TTI, para altos valores mayores a 22 se presenta reajuste de potencia para el canal HS-DSCH). HS-DSCH Ec/Ior	Observar los valores que toma el CQI en histogramas en los diferentes modelos de canal, analizar el menor valor, el mayor valor y el que más se repite.

Tabla 4. 17. Tabla de experimentos, parámetros y objetivos para la sección 4.4.

4.4.1 Experimento 1

Este experimento se realizó con los parámetros mostrados en la tabla 4.17. El propósito es observar cómo se comporta el CQI y así observar cómo cambian los parámetros del formato de transporte para los diferentes modelos de canal radio de la ITU que son recomendados por 3GPP. Los resultados de simulación se muestran en las figuras 4.23, 4.24, 4.25, 4.26 para los modelos de canal PA3, PB3, VA30 Y VA120 respectivamente.

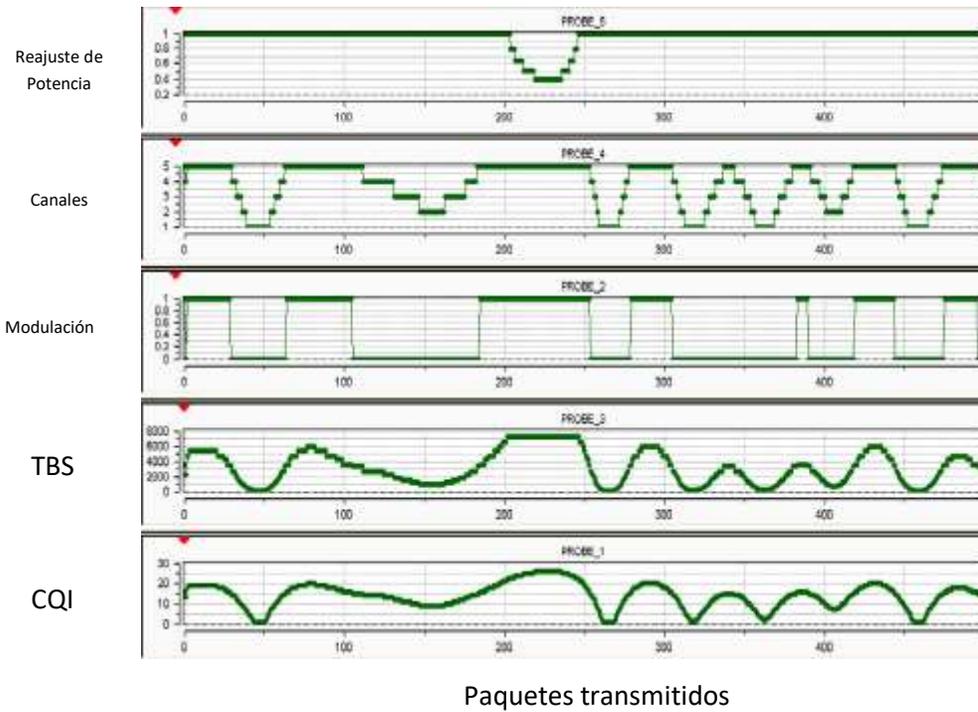


Figura 4. 23. Comportamiento del CQI y cambios en los parámetros de formato de transporte para el modelo de canal PA3.

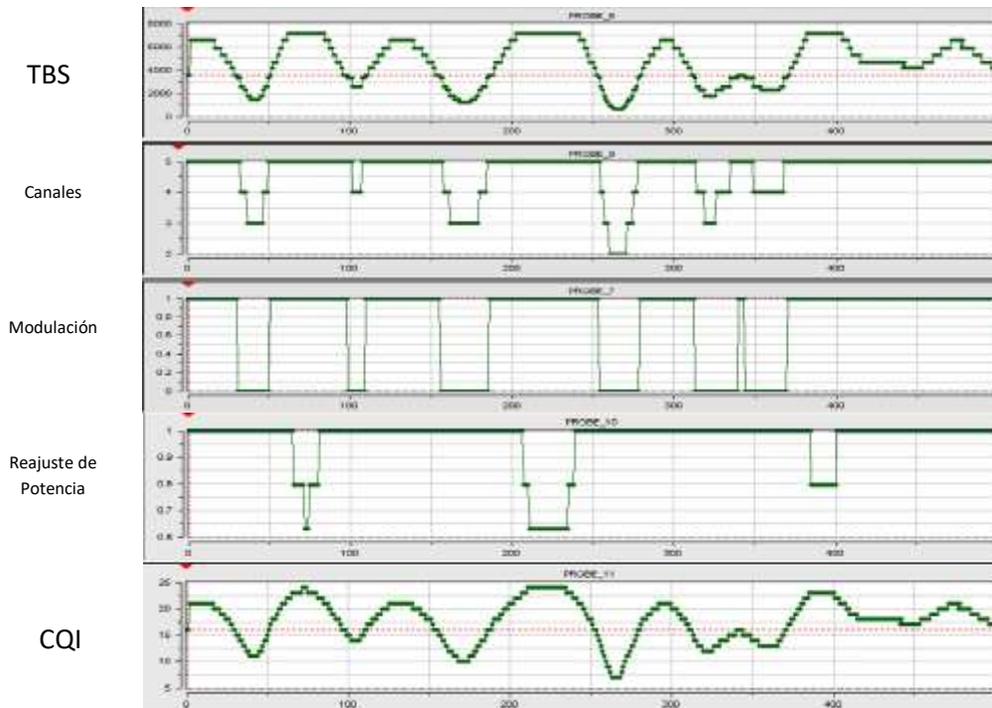


Figura 4. 24. Comportamiento del CQI y cambios en los parámetros de formato de transporte para el modelo de canal PA3.

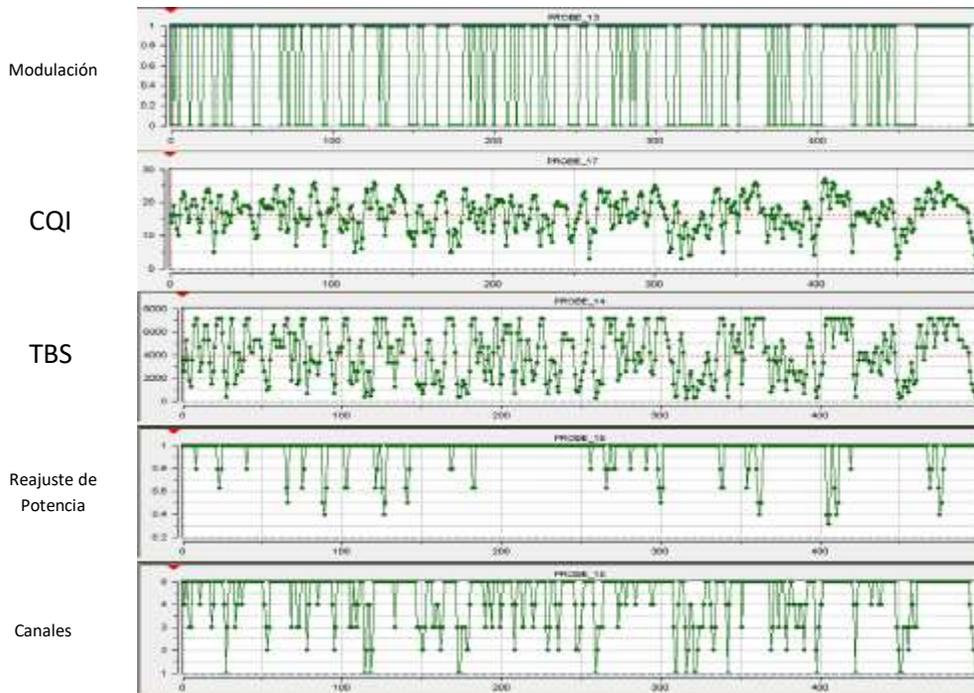


Figura 4. 25. Desempeño del CQI y cambios en los parámetros de formato de transporte para el modelo de canal VA30.

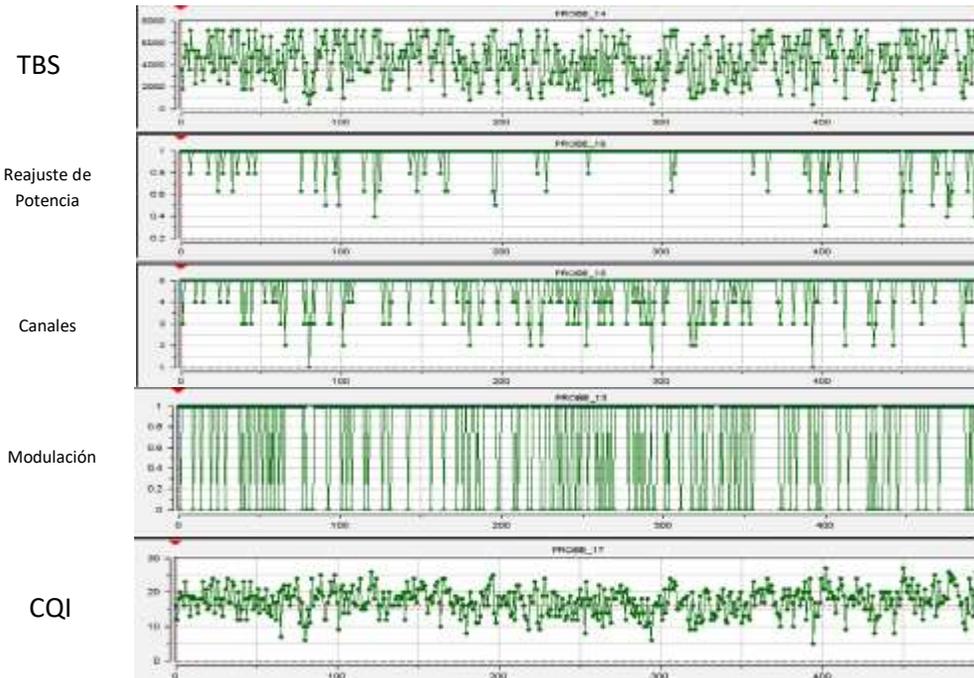


Figura 4. 26. Desempeño del CQI y cambios en los parámetros de formato de transporte para el modelo de canal VA120.

La figura 4.23 muestra el comportamiento del CQI y los cambios en los parámetros del formato de transporte para el modelo de canal PA3, el cual se caracteriza por tener el menor número de señales multitrayecto (tabla 2.3), en total 4. Los resultados se muestran en su orden así:

- Reajuste de la potencia de referencia (especificado en veces).
- Número de canales físicos (especifica el número de HS-PSDCH que llevan la información en un TTI).
- Tipo de modulación (un cero indica QPSK y un uno 16QAM)
- TBS (especificado en bits).
- Valor del CQI (valor que le transmite el UE al Nodo B).

El análisis para este modelo de canal es el mismo de la sección 4.3.2 (experimento 2) para un valor de SNR igual a 20 dB.

La figura 4.24 muestra el comportamiento del CQI y los cambios en los parámetros del formato de transporte para el modelo de canal PB3, el cual se caracteriza por tener 6 señales multitrayecto (tabla 2.4). Los resultados se muestran en su orden así:

- TBS (especificado en bits).
- Número de canales físicos (especifica el número de HS-PSDCH que llevan la información en un TTI).
- Tipo de modulación (un cero indica QPSK y un uno 16QAM).
- Reajuste de la potencia de referencia (especificado en veces).
- Valor del CQI (valor que le transmite el UE al Nodo B).

Los resultados de la figura 4.24 muestran que el UE envía altos valores de CQI, por encima de 22 hasta un valor igual a 24. El máximo valor que toma el CQI para este modelo de canal es menor que en el máximo valor de CQI para el modelo de canal PA3, pero se observa que se realiza reajuste de potencia sobre el canal HS-DSCH con mayor frecuencia, llegando nuevamente a la conclusión de que en este modelo de canal se obtiene una señal robusta (con mayor potencia) gracias al mayor número de señales multitrayecto con respecto a las del modelo de canal PA3, las cuales son compensadas por el receptor *Rake*. Con el máximo valor de CQI presentado en este tipo de canal (24) se transmiten TBS's hasta de 7168 bits, los bloques de datos de usuario se modulan en su gran mayoría con 16QAM, se transmite hasta con 5 canales físicos (máximos posibles en la categoría 5), y como el CQI toma valores mayores a 22 se realiza reajuste de potencia en el canal HS-DSCH.

La figura 4.25 muestra el comportamiento del CQI y los cambios en los parámetros del formato de transporte para el modelo de canal VA30, el cual se caracteriza por tener 6 señales multitrayecto (tabla 2.5), pero con diferentes valores de atenuaciones y retardos que los del modelo de canal PB3. Los resultados se muestran en su orden así:

- TBS (especificado en bits).
- Reajuste de la potencia de referencia (especificado en veces).
- Número de canales físicos (especifica el número de HS-PSDCH que llevan la información en un TTI).
- Tipo de modulación (un cero indica QPSK y un uno 16QAM).

- Valor del CQI (valor que le transmite el UE al Nodo B).

Los resultados de la figura 4.25 muestran que el UE envía altos valores de CQI, por encima de 22 hasta un valor de 27, aunque este valor solo en un bloque de transporte. Como el móvil se desplaza a una velocidad, lo cual ocasiona que se esté cambiando rápidamente de lugar físico y las condiciones del canal radio varíen con una alta frecuencia. Se observa que el CQI cambia de un valor a otro bruscamente por lo cual no se observa una curva suave como en los dos modelos de canal anteriores, se transmiten TBS's en la mayor tasa de bits de información (7168), los bloques de datos de usuario se modulan en QPSK y 16QAM casi en proporciones iguales, se transmiten hasta con 5 canales físicos (máximos posibles en la categoría 5), y como el CQI toma valores mayores a 22 se realiza reajuste de potencia en el canal HS-DSCH.

La figura 4.26 muestra el comportamiento del CQI y los cambios en los parámetros del formato de transporte para el modelo de canal VA120, el cual se caracteriza por tener 6 señales multitrayecto con iguales valores de atenuaciones y retardos que el modelo de canal VA30 pero con mayor corrimiento *doppler* (tabla 2.5). Los resultados se muestran en su orden así:

- TBS (especificado en bits).
- Reajuste de la potencia de referencia (especificado en veces).
- Número de canales físicos (especifica el número de HS-PSDCH que llevan la información en un TTI).
- Tipo de modulación (un cero indica QPSK y un uno 16QAM).
- Valor del CQI (valor que le transmite el UE al Nodo B).

Los resultados de la figura 4.26 muestran un comportamiento casi similar en los cambios del CQI, esto debido a que en los modelos de canal VA30 y VA120 se tiene la misma cantidad de señales multitrayecto (atenuaciones y retardos), en el modelo de canal VA120 el UE cambie rápidamente de lugar físico y las condiciones del canal radio varían con una frecuencia demasíadamente alta, mayor que en el modelo de canal VA30, en la figura 4.26 se observa que el CQI cambia de un valor a otro bruscamente (más que en el modelo de canal VA30), los valores que toman los parámetros del formato de transporte son similares a los del modelo VA30, por lo que se concluye que la tecnología HSDPA con la técnica AMC es bastante robusta para muy altas velocidades de desplazamiento del UE, transmitiendo con modulaciones de alto nivel como es 16QAM.

4.4.2 Experimento 2

Este experimento se realizó con los parámetros mostrados en la tabla 4.17. El propósito es observar cómo se comporta el *throughput* en la categorías 5 con la técnica AMC para los diferentes modelos de canal radio de la ITU, que son recomendados por 3GPP. Los resultados de simulación se muestran en la tabla 4.18.

Iteración	Bloques enviados	Bloques Recibidos	Modelo de canal	SNR	Throughput
1	499	499	PA3	0	68.088176
2	499	499	PA3	5	71.93487
3	499	499	PA3	10	89.582164
4	499	499	PA3	15	374.98898
5	499	499	PA3	20	1510.1293
6	499	499	PB3	0	68.225451
7	499	499	PB3	5	68.225451
8	499	499	PB3	10	83.958918
9	499	499	PB3	15	520.0982
10	499	499	PB3	20	380.7004
11	499	499	VA30	0	68.225451
12	499	499	VA30	5	68.225451
13	499	499	VA30	10	82.401804
14	499	499	VA30	15	431.77655
15	499	499	VA30	20	656.02906
16	499	499	VA120	0	68.225451
17	499	499	VA120	5	68.225451
18	499	499	VA120	10	88.986974
19	499	499	VA120	15	496.06914
20	499	499	VA120	20	608.86172

Tabla 4. 18. Resultados del *throughput* en función del SNR para cada modelo de canal bajo con la técnica AMC. Parámetros experimento 2 (tabla 4.17).

Los resultados de la tabla 4.18 muestran el comportamiento del *throughput* en función de la SNR para los diferentes modelos de canal, con la técnica AMC. El comportamiento es muy diferente a las simulaciones con FRC, en donde los parámetros de modulación y codificación son fijos. Se observa que los diferentes modelos de canal tienen un comportamiento similar del *throughput* para valores de SNR menores a 10 dB, que el modelo de canal PA3 tiene un muy buen desempeño referente al *throughput* respecto a los demás canales para valores de SNR mayores a 15 dB, para un valor de SNR de 20 dB se obtiene un valor de *throughput* de 1510.1293 Kbps, el cual es muy superior a los demás modelos para este mismo valor de SNR. Para el modelo de canal PB3 no se obtienen resultados satisfactorios para valores mayores a 15 dB (lo anterior por errores en la inserción de datos en el simulador, este error no se corrigió ya que la licencia de SPD de Coware® venció en el mes de agosto de 2011) aunque se espera que el valor del *throughput* siga creciendo de manera similar a los modelos de canal vehiculares VA30 y VA120. Para los modelos de canal vehiculares VA30 y VA120 los resultados son similares con valores de 431.77655 y 496.06914 Kbps respectivamente para una SNR de 15 dB y 656.02906 en VA30 y 608.86172 Kbps en VA120 ambos con un SNR de 20 dB, estos resultados se muestran gráficamente en la figura 4.27.

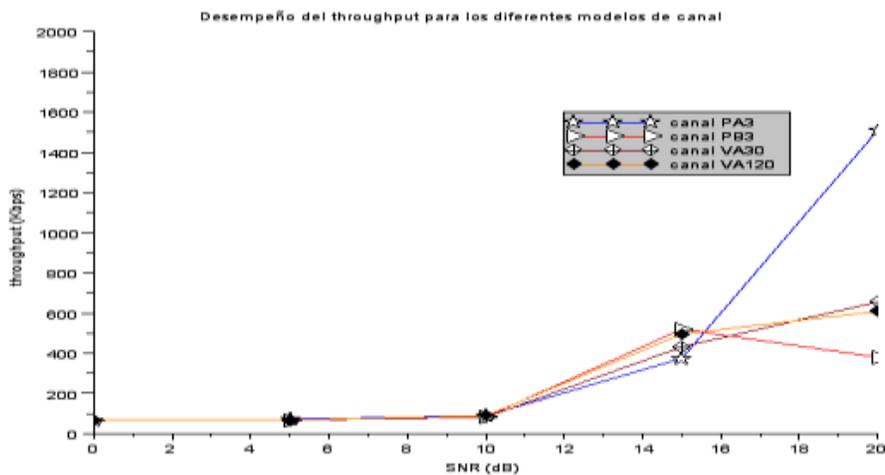


Figura 4. 27. Desempeño del *throughput* para los diferentes modelos de canal con la técnica AMC en función de SNR.

AMC es una técnica de adaptación al canal radio bastante buena, ya que debido a su dinamismo en el tiempo puede afrontar las variaciones aleatorias que se presentan en el canal, se observa que para transmitir en una modulación de alto orden y varios códigos en paralelo debe tener una SNR por encima de los 15 dB.

4.4.3 Experimento 3

Este experimento se realizó con los parámetros mostrados en la tabla 4.17. El propósito es observar los valores que toma el CQI en los diferentes modelos de canal, analizar el menor valor, el mayor valor y el que más se repite. Para determinar estos se realizaron histogramas de los valores que tomo el CQI, en la figura 4.28 se muestran los histogramas para los modelos de canal PA3 y PB3 de izquierda a derecha respectivamente y en la figura 4.29 se muestran los histogramas para los modelos de canal VA30 y VA120 en el mismo sentido.

La figura 4.28 muestra la magnitud de los valores del CQI. En el modelo de canal PA3 el CQI toma un valor mínimo 1, un máximo de 18 y el valor del CQI que más se repite es el 1, además se observa que no se presenta pérdida de paquetes (explicación con el color de las barras (sección 4.3.1)). En el modelo de canal PB3 el CQI toma un valor mínimo 1, una máximo de 14 y el valor del CQI que más se repite es el 11, esto debido a que este modelo saca ventaja del mayor número de señales multitrayecto que las presentadas en el modelo de canal PA3, compensando las diferentes señales multitrayecto obteniéndose una señal más robusta gracias a la ganancia por diversidad multitrayecto, así el UE se obtiene una potencia mayor del CPICH que en el modelo PA3, reportando así altos valores de CQI frecuentemente.

En el modelo de canal VA30 el CQI toma un valor mínimo 1, un máximo igual a 17 y el valor del CQI que más se repite es el 1. Para el modelo de canal VA120 el CQI toma un valor mínimo 1, un máximo igual a 18 y el valor del CQI que más se repite es el 1. Estos resultados corroboran la robustez de la tecnología HSDPA para UE's desplazándose a altas velocidades tanto para el modelo de canal VA30 y el VA120, aunque se observa que en el modelo de canal VA120 al transmitir con un CQI igual a 2 se obtuvieron bloques de datos errados (explicación con el color de las barras (sección 4.3.1)), esto debido a la alta velocidad con la que se desplaza el UE.

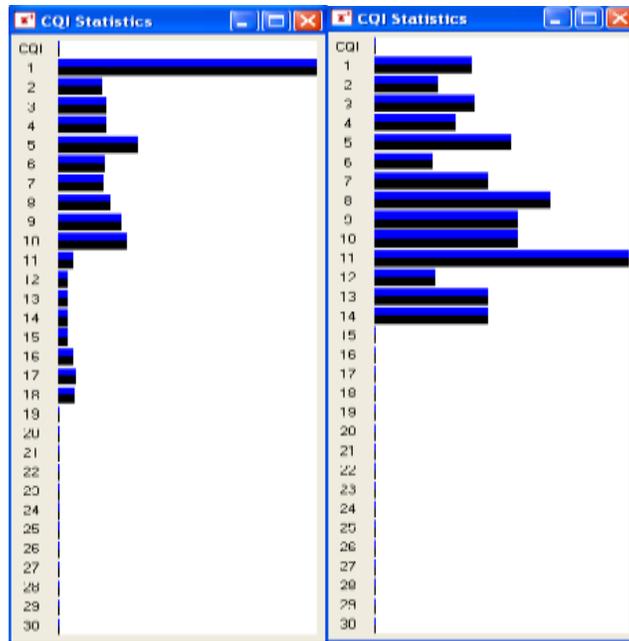


Figura 4. 28. Histogramas del comportamiento del CQI para los modelos de canal PA3 y PB3.

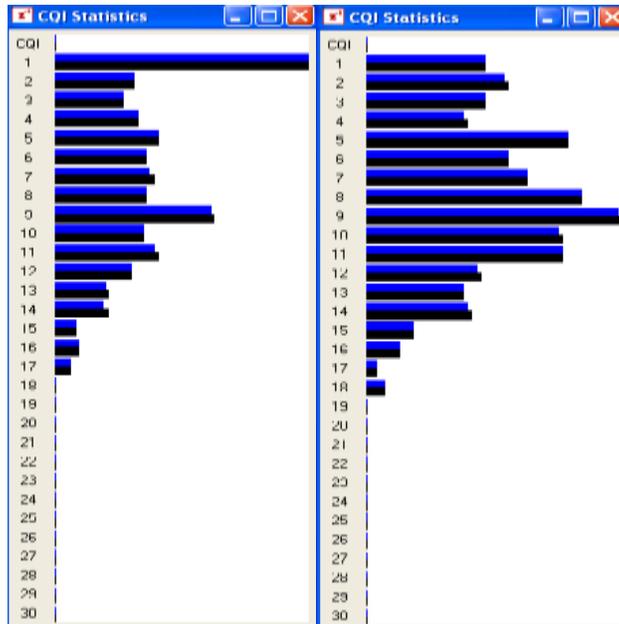


Figura 4. 29. Histogramas del comportamiento del CQI para los modelos de canal PA3 y PB3.

CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y APORTES

CONCLUSIONES

1. La adaptación y aplicación de una metodología de simulación es muy importante, ya que ésta permite cumplir los objetivos planteados, a la vez facilita analizar de forma clara las etapas y los alcances de la simulación.
2. La metodología de simulación de sistemas de telecomunicaciones adaptada y aplicada en este trabajo de grado fue la adecuada, ya que permitió reducir la complejidad del sistema a través de subsistemas y bloques funcionales, que fácilmente se adaptan a entornos de simulación como Synopsis® SPD, así como de otras herramientas de simulación.
3. La simulación de sistemas de telecomunicaciones permiten manipular y predecir el comportamiento de redes y sistemas, además de evaluar su desempeño para fines investigativos, sin necesidad de implementarlos físicamente lo que implica una reducción de costos considerable.
4. El modelo de simulación implementado permitió observar y analizar el procesamiento de la señal en la tecnología HSDPA (*Release 5* del 3GPP), a nivel banda base desde que es generada en el transmisor hasta que es recuperada y comparada en el receptor.
5. De acuerdo a los resultados en la tabla 4.3, se concluye que con SNR de 10 dB y HS-DSCH E_c/I_{or} de -3 dB (50% de la potencia de transmisión del Nodo B en el canal HS-DSCH), son los valores adecuados para una comunicación HSDPA con FRC. El valor de HS-DSCH E_c/I_{or} de -1 dB se lo descarta debido a que con este valor se tiene el 80 % de la potencia total de transmisión del Nodo B sobre el canal HS-DSCH, dejando los demás canales mencionados en el capítulo 1 y 3 con baja potencia de transmisión y exponiendo el sistema a errores en la señalización.

Se concluye que el valor del *throughput* es de aproximadamente 41% el valor teórico; los anteriores resultados se obtuvieron con la implementando la técnica de HARQ sin AMC y bajo el modelo de canal PA3.

6. Las técnicas CC e IR de decodificación HARQ, no influyen en el comportamiento del *throughput*, ambas presentan un comportamiento similar, esto se concluye de acuerdo a los resultados de la figura 4.5, de valores de teóricos del *throughput* del 3GPP para las categorías con diferente esquema de decodificación y de [26], las cuales presentan resultados similares.
7. El modelo de canal PA3 es el que mejor comportamiento presenta con respecto al *throughput*, logrando velocidades de transmisión de datos hasta de 1600 Kbps con una SNR de 20 dB.
8. El modelo de canal PB3 es el que mejor desempeño presenta respecto a la BER/BLER, debido a que los bloques de datos son decodificados exitosamente con menor cantidad de

potencia en el canal HS-DSCH, tomando ventaja del receptor *Rake*, gracias a la ganancia por diversidad de trayecto se obtiene una señal más robusta.

9. La tecnología HSDPA es muy robusta a alta velocidad de desplazamiento de los usuarios móviles, ya que para los UE que se desplazan a 30 km/hora y 120 km/hora se obtienen resultados de *throughput* por encima de los 1300 Kbps para valores de E_c/I_{or} para el canal HS-DSCH de -3 dB y una SNR de 10 dB en UE con 5 códigos.
10. El comportamiento del CQI es indiferente del patrón de transmisión HARQ y de los esquemas CC e IR, este es exclusivamente función del valor de potencia recibido en el canal CPICH.
11. Para que la tecnología haga uso de la modulación 16 QAM, es necesario tener una alta SNR, por encima de los 15 dB y un HS-DSCH por lo menos de - 3 dB.
12. Para un SNR de 20 dB y 50% de potencia de la estación base en el canal HS-DSCH, la tecnología HSDPA tiene un muy buen comportamiento. Con este valor se obtuvo reajustes de potencia, lo que indica que se está transmitiendo con valores de CQI por encima de 22, esto indica que se soporta la velocidad de transmisión de datos más alta con una potencia de transmisión menor.
13. Se concluye que la técnica AMC necesita altos valores de SNR (mayores a 15 dB) para que se pueda aprovechar bien los formatos de transporte y conseguir altos valores en la velocidad de datos.
14. Debido a que la tecnología HSDPA tiene diferentes esquemas de transmisión de datos como modulación y tasa de codificación variable que son dependientes del CQI, no se puede ir aumentando la cantidad de potencia indiscriminadamente, pues a medida que esta sea mayor, se transmite con una mayor velocidad de datos y baja codificación, sin tener en cuenta las condiciones del canal radio, por lo cual esta información podría llegar en un gran porcentaje errada al receptor.
15. Los canales peatonales PA3 y PB3 son muy estables y se adaptan suavemente a las condiciones del canal radio, lográndose un buen desempeño del *throughput*, siempre y cuando se tenga una buena SNR, además se concluye que en el modelo de canal PB3 se tiene mayores reajustes de potencia.
16. La transmisión en intervalos cortos (TTI igual a 2 ms) ayuda a que la tecnología HSDPA se adapte rápidamente a las variaciones del canal radio, permitiendo un mejor desempeño de la tecnología en los modelos de canal vehicular.
17. En los modelos de canal vehicular, los recursos del formato de transporte (TFRC) cambian con muy alta frecuencia, así el sistema se apoya por la FPS para cambiar rápidamente los formatos de transporte para la transmisión de datos de usuario.
18. Utilizando la técnica de AMC se consigue alta tasa de transmisión de datos de usuario, se tiene que para valores de SNR menores a 10 dB el desempeño del *throughput* es muy pobre y similar en todos los modelos de canal; de los 10 a los 15 presenta un mejor

desempeño el modelo de canal PB3, aunque la diferencia es muy poca respecto a los demás modelos de canal. En el modelo de canal PA3, es donde se obtiene el mejor desempeño del *throughput* y para valores de SNR mayores a 15 dB se logra velocidades de transmisión de datos superiores a 1000 Kbps, lo cual implica que en HSDPA la SNR o $\hat{\sigma}^2$ /loc debe tener un valor mayor a los 15 dB.

19. La técnica AMC se apoya de la FPS, esto es muy útil para canales vehiculares, así La tecnología HSDPA conserva su robustez en la transmisión de datos para UE's que se encuentran en UE's.

RECOMENDACIONES

1. Cuando se desea evaluar y analizar tecnologías complejas como HSDPA, es recomendable adaptar y aplicar una metodología de simulación, pues gracias a ésta se logra dividir el sistema en subsistemas menos complejos para facilitar su entendimiento y posterior análisis.
2. Cuando se analizan tecnologías en donde los recursos de formato de transporte sean dinámicos en el tiempo como HSDPA, E_b/N_0 no es una medida adecuada para analizar el sistema, se recomienda evaluar el desempeño con la SNR, debido a que la tasa de bits es variable en cada paquete de datos.

TRABAJOS FUTUROS

1. Evaluar y analizar las diferentes versiones del 3GPP por medio de metodologías de simulación.
2. Comparar el desempeño de las tecnologías LTE y WIMAX Móvil.
3. Evaluar diferentes tecnologías inalámbricas, tanto en baja frecuencia como en alta frecuencia y determinar aplicaciones.

REFERENCIAS

- [1]. High Speed Downlink Packet Access, Test and Measurement Requirements, Rohde & Schwarz Product. Disponible en: http://www2.rohde-schwarz.com/file/1MA82_OE.pdf. Visitada por última vez (29 de Enero de 2011).
- [2]. HSDPA performance and evolution. Disponible en: http://www.ericsson.com/ericsson/corpinfo/publications/review/2006_03/files/6_hsdpa.pdf. Visitada por última vez (29 de Enero de 2011).
- [3]. Holma Harri, Toskala Antti "HSDPA/HSUPA for UMTS. High Speed Radio Access for Mobile Communications", John Wiley and Sons Ltd., 2006.
- [4]. Adaptive Modulation and Coding (AMC), Stockholm, Sweden, 20th-24th Oct 2000, Agenda Item: Adhoc#24, HSDPA, Source: Motorola. Disponible en: http://www.3gpp.org/ftp/tsg_ran/wg1_rl1/TSGR1_17/Docs/PDFs/R1-00-1395.pdf. Visitada por última vez (30 de Enero de 2011).
- [5]. Cantos Muñoz José, Pasamontes Mar Pacheco, Caracterización y optimización del acceso a Internet a través de UMTS/HSDPA, Universidad politécnica de Cataluña. Disponible en: <https://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/4570/1/memoria.pdf>. Visitada por última vez (30 de Enero de 2011).
- [6]. Frech Eduardo Alonso, Artículos de la Sociedad de la Información, La evolución de la radio UMTS. Disponible en: http://sociedadinformacion.fundacion.telefonica.com/DYC/SHI/seccion=1188&idioma=es_ES&id=2009100116300147&activo=4.do?elem=3847. Visitada por última vez ((30 de Enero de 2011).
- [7]. Gago Cerezal Efrein, Lorca Hernando Javier, Vázquez Burgos Juan Manuel, Simulador UMTS / HSDPA / HSUPA, Telefónica Móviles España Y Telefónica Investigación Y Desarrollo. Disponible en: http://w3.iec.csic.es/ursi/articulos_modernos/articulos_oviedo_2006/articulos/sesionCMS-III-14small.pdf. Visitada por última vez (27 de Noviembre de 2010).
- [8]. HSDPA (High Speed Downlink Packet Access) (Acceso De Paquetes De Alta Velocidad En El Enlace Descendente). Disponible en: <http://dspace.epn.edu.ec/bitstream/123456789/1417/5/T11378%20CAP%20IV.pdf>. Visitada por última vez (30 de Enero de 2011).
- [9]. HSUPA Features/Performance. Disponible en: http://onyx.yonsei.ac.kr/~tta2007/files/4_27_3GPP_HSUPA.pdf. Visitada por última vez (30 de Enero de 2011)
- [10]. MBMS – Broadcast / Multicast in UMTS Networks, Ericsson Corporate Research Multimedia Technologies. Disponible en: [http://mmc06.hhi.de/Downloads/U.%20Horn%20\(%20Ericsson\)%20-%20MBMS-Broadcast%20Multicast%20in%20UMTS%20networks.pdf](http://mmc06.hhi.de/Downloads/U.%20Horn%20(%20Ericsson)%20-%20MBMS-Broadcast%20Multicast%20in%20UMTS%20networks.pdf). Visitada por última vez (30 de Enero de 2011).
- [11]. 3GPP, ¡Error! Utilice la pestaña Inicio para aplicar ZA al texto que desea que aparezca aquí..

[12]. WCDMA – Requirements and Practical Design, Publicado por Rudolf Tanner and Jason Woodard, UbiNetics Ltd, UK. Disponible en: http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lem/fajardo_p_d/capitulo3.pdf. Visitada por última vez (30 de Enero de 2011).

[13]. Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Telecomunicación. Universidad Politécnica de Cartagena. “Simulación de redes de tercera generación con HSDPA”. Documento en formato pdf. Disponible en: http://repositorio.bib.upct.es/dspace/bitstream/10317/345/1/2005_AI_5.pdf. Visitada por última vez (29 de Enero de 2011).

[14]. 3GPP, TS 25.214 V5.11.0 (2005-06), Group Radio Access Network; Physical layer procedures (FDD), (*Release 5*).

[15]. 3GPP, TR 25.835 V1.0.0 (2000-09), Technical Specification Group Radio Access Network; Report on Hybrid ARQ Type II/III.

[16]. 3GPP, TS 25.212 V5.2.0 (2002-09), Group Radio Access Network; Multiplexing and channel coding (FDD) (*Release 5*).

[17]. IMS, IP Multimedia Subsystem. Disponible en: http://www.radioelectronics.com/info/telecommunications_networks/ims-ip-multimedia-subsystem/tutorial-basics.php. Visitada por última vez (29 de Enero de 2011).

[18]. Role and Evolution of Radio Network Controllers. Disponible en: <http://focus.ti.com/lit/ml/sprp501/sprp501.pdf>. Visitada por última vez (29 de Enero de 2011).

[19]. Wireless Technology Terms, Glossary and Dictionary. Disponible en: <http://www.javvin.com/wireless/CRNC.html>, visitada por última vez (31 de enero de 2011).

[20]. 3GPP, ¡**Error! Utilice la pestaña Inicio para aplicar ZA al texto que desea que aparezca aquí.**

[21]. Electiva 3G WCDMA, HSDPA Capitulo 5, Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones, Universidad del Cauca. Popayán, 2009.

[22]. Park Minjae, Lee Woonsik, Nguyen Minh-Viet and Soo Lee Hwang, Practical Chip-level Equalizers in HSDPA, Department of EECS, Division of Electrical Engineering, Korea Advanced Institute of Science and Technology. Disponible en: <http://www.academypublisher.com/jcp/vol03/no04/jcp03041623.pdf>. Visitada por última vez (27 de Enero de 2011)

[23]. C. L. Muñoz R. “Metodología para la Simulación de Equipos de Telecomunicaciones”. Tesis Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones, Universidad del Cauca. Popayán, 1995.

[24]. 3GPP, TR 25.890 V1.0.0 (2002-05), High Speed Downlink Packet Access: UE Radio Transmission and Reception (FDD), (*Release 5*).

[25]. 3GPP, TS 25.101 V5.20.0 (2006-12), Technical Specification Group Radio Access Network;

User Equipment (UE) radio transmission and reception (FDD), (*Release 5*).

[26]. Performance Comparison of Hybrid-ARQ Schemes, TSG-RAN WG1#17 TSGR1#17(00)1396 Stockholm, Sweden, 20th-24th Oct 2000 Agenda Item: Adhoc#24, HSDPA Source: Motorola. Disponible en:

http://www.3gpp.org/ftp/tsg_ran/wg1_rl1/TSGR1_17/Docs/PDFs/R1-00-1396.pdf. Visitada por última vez (27 de Enero de 2011)

[27]. Villar Pascual Sonia, Red de Acceso de Banda Ancha mediante WiMAX Móvil (IEEE 802.16e), proyecto fin de carrera, Grupo de Sistemas de Radiocomunicaciones y Comunicaciones Ópticas, Departamento de Ingeniería Informática, Escuela Politécnica Superior, Universidad Autónoma de Madrid, Abril 2010. Disponible en:

<http://arantxa.ii.uam.es/~jms/pfcsteleco/lecturas/20100427SoniaVillarPascual.pdf>. Visitada por última vez (25 de Enero de 2011)

[28]. 3GPP, TSG-RAN WG4 Meeting #36, London, U.K., 29 August – 2 September, 2005. Disponible en:

http://www.quintillion.co.jp/3GPP/TSG_RAN/TSG_RAN2005/TSG_RAN_WG4_Radio8.html, R4-050890.doc. Visitada por última vez (30 de Enero de 2011).

[29]. Wireless Technology Terms, Glossary and Dictionary. Disponible en: <http://www.javvin.com/wireless/SRNC.html>, visitada por última vez (31 de enero de 2011).

[30]. Spread Spectrum. Disponible en: http://www.sss-mag.com/pdf/Ss_jme_denayer_intro_print.pdf. Visitada por última vez (30 de Enero de 2011).

[31]. HSDPA Mobile Broadband Data. Disponible en: http://www.eet-china.com/ARTICLES/2005NOV/PDF/HSDPA_Mobile_Broadband_Data.PDF (30 de Enero de 2011).