

**UNIVERSIDAD DON BOSCO  
FACULTAD DE INGENIERÍA**



**TRABAJO DE GRADUACIÓN PARA OPTAR AL GRADO DE:  
INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES**

**“Monografía sobre HSPA”**

**PRESENTADO POR:  
EDWIN MARVIN CORVERA VENTURA**

**ASESOR:  
ING. NELSON RODRIGUEZ**

**SEPTIEMBRE 2009  
SOYAPANGO, EL SALVADOR C.A.**

**UNIVERSIDAD DON BOSCO  
FACULTAD DE INGENIERÍA**



**Rector:  
Ing. Federico Miguel Huguet**

**Secretario General  
Lic. Mario Olmos**

**Decano de la Facultad de Ingeniería  
Ing. Ernesto Godofredo Girón**

**SEPTIEMBRE 2009  
SOYAPANGO, EL SALVADOR C.A.**

**UNIVERSIDAD DON BOSCO  
FACULTAD DE INGENIERÍA**



**TRABAJO DE GRADUACIÓN PARA OPTAR AL GRADO DE:  
INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES**

**“MONOGRAFIA SOBRE HSPA”**

---

**Ing. Juan Carlos Castro**  
Lector Evaluador

**SEPTIEMBRE 2009**  
SOYAPANGO, EL SALVADOR C.A.

## INDICE

### **PREAMBULO**

A) Introducción General	I
B) Objetivos	III
B.1) Objetivo General	III
B.2) Objetivos Específicos	III
C) Alcances y Limitantes de la investigación	IV
C.1) Alcances	IV
C.2) Limitantes	V

### **CAPITULO I: EVOLUCION DE LA TECNOLOGIA MOVIL Y EL MARCO DE TRABAJO DE HSPA DENTRO DE 3GPP**

1.1 Introducción	2
1.2 Evolución de la Tecnología Móvil Celular	2
1.2.1 Primera Generación (1G)	2
1.2.2 Segunda Generación (2G)	4
1.2.3 Generación 2.5G	4
1.2.4 Tercera Generación (3G)	5
1.2.5 Tecnología WCDMA y su Desarrollo	6
1.3 Estándar HSPA y el Esquema de su Desarrollo	7
1.4 Evolución de la Capacidad Radio con HSPA	8
1.5 Estándar HSPA	12
1.5.1 3GPP	12
1.5.2 Relación entre 3GPP e ITU	15
1.5.3 Estandarización de HSDPA en 3GPP	15
1.5.4 Estandarización de HSUPA en 3GPP	18
1.6 Desarrollo de HSDPA y HSUPA	21
1.7 Mas allá de HSDPA y HSUPA	22
1.8 Referencias	24

<b>CAPITULO II: ARQUITECTURA Y PROTOCOLO HSPA</b>	<b>25</b>
2.1 Introducción	26
2.2 Arquitectura de la Administración de Recursos de Radiofrecuencia	26
2.3 Implementación de HSPA	28
2.4 Eficiencia Espectral	28
2.3 Arquitectura del Protocolo HSPA	28
2.3.1 Arquitectura del Plano de Usuario en HSPA	32
2.4 Impacto de HSDPA y HSUPA en la Interface UTRAN	37
2.5 Estado del Protocolo con HSPA	43
2.6 Gestión de los Recursos Radio	45
2.6.1 Gestión de los Recursos Radio para HSDPA	45
2.6.1.1 Algoritmos en la RNC	47
2.6.1.1.1 Asignación de recursos	47
2.6.1.1.2 Parametrización de QoS	51
2.6.1.1.3 Control de Admisión	52
2.6.1.1.4 Gestor de Movilidad	54
2.6.1.1.5 Medida de Eventos Para la Mejor Celda Servidora HS-DSCH	54
2.6.1.1.6 Inter Handover Nodo B HS-DSCH hacia HS-DSCH	56
2.6.1.1.7 Handover de HS-DSCH hacia DCH	59
2.6.1.2 Algoritmos en el Nodo B	60
2.6.1.2.1 Técnicas de Adaptación del Enlace HS-DSCH	60
2.6.1.2.2 Control de Potencia HS-SCCH	62
2.6.1.3 Programador de Paquetes	63
2.6.2 Gestión de los Recursos Radio HSUPA	63
2.6.2.1 Algoritmos en la RNC	64

2.6.2.1.1	Asignación de Recursos	64
2.6.2.1.2	Parametrización de QoS	67
2.6.2.1.3	Control de Admisión	67
2.6.2.1.4	Gestor de Movilidad	68
2.6.2.2	Algoritmos en el Nodo B	69
2.6.2.2.1	Programador de Paquetes	69
2.7	Referencias	71
 <b>CAPITULO III: PRINCIPIOS DE HSPA</b>		<b>72</b>
3.1	Introducción	73
3.2	Principios de HSDPA	73
3.2.1	HSDPA contra Edición 99 DCH	73
3.2.2	Claves de la Tecnologías HSDPA	77
3.2.2.1	Canal Compartido de Enlace de Bajada a Alta Velocidad	79
3.2.2.1.1	Codificación HS-SCH	82
3.2.2.1.2	Modulación HS-DSCH	87
3.2.2.2	Canal de Control Compartido a Alta Velocidad	89
3.2.2.3	Canal de Control Físico Dedicado a Alta Velocidad	92
3.2.2.3.1	Fraccional DPCH	95
3.2.2.4	Adaptación del Enlace HS-DSCH	98
3.2.3	Procedimiento de Operación de Capa Física HSDPA	101
3.2.4	Movilidad	103
3.2.5	Parámetros Iub	108
3.2.6	Operación de Capa MAC HSDPA	109
3.3	Principios de HSUPA	111
3.3.1	HSUPA contra Edición 99	111
3.3.2	Claves de la Tecnología HSUPA	113

3.3.2.1	Programador de Eventos para HSUPA	116
3.3.2.2	Canal de Transporte E-DCH y Canales Físicos	119
3.3.2.3	Procesamiento de Canales de Transporte E-DCH	120
3.3.2.4	Canal de Datos Físico Dedicado E-DCH	121
3.3.2.5	Canal de Control Físico Dedicado	126
3.3.2.6	Canal Indicador HARQ E-DCH	129
3.3.3	Motivación e Impacto de Dos Longitudes TTI	132
3.3.4	Procedimiento de Capa Física	133
3.3.5	HARQ	134
3.3.5.1	HARQ y Soft Handover	136
3.3.6	Capa MAC	137
3.3.6.1	Plano de Usuario	137
3.3.6.2	Control de Mensaje MAC-e, Programador de Información	139
3.3.7	Selección de Formato de Transporte para E-DCH	140
3.3.7.1	Programador de Eventos HSUPA y el E-TFC	140
3.3.8	Parámetros Iub	142
3.3.9	Movilidad	144
3.3.9.1	Soft Handover	144
3.3.9.2	Modo Comprimido	148
3.4	Capacidades del UE y Tasas de Velocidad de Transferencia de Datos	146
3.5	Referencias	149

**CAPITULO IV: TASA DE BITS, CAPACIDAD Y COBERTURA CON HSPA 150**

4.1	Introducción	151
4.2	Factores de Desarrollo General de HSDPA	151
4.3	Métrica Esencial del Desempeño HSDPA	152
4.4	Desempeño de Usuario HSDPA	154
4.4.1	Modulación Básica y Desempeño de Codificación	154
4.4.2	Desempeño HS-DSCH	159
4.4.3	Desempeño HS-SCCH	164
4.4.4	Desempeño de HS-DPPCH de Enlace de Subida	166
4.4.5	Velocidad de Transmisión de Datos por Usuario	167
4.5	Topología de Celda	168
4.6	Eficiencia de Transmisión	169
4.7	Tiempo de Viaje de Ida y Vuelta (Viaje Redondo)	170
4.8	Factores Generales de Desempeño de HSUPA	172
4.8.1	Desempeño de un Único Usuario HSUPA	173
4.8.2	HARQ	178
4.9	Programador de Eventos en el Nodo B	182
4.10	Referencias	184

**CAPITULO V: Requerimientos de Radio Frecuencia de Terminal HSPA 185**

5.1	Introducción	186
5.2	Requerimientos del Transmisor	186
5.2.1	Potencia de Salida	186
5.2.2	Canal Contiguo de Razón de Escape	188
5.2.3	Modulación de Transmisión	190
5.3	Requerimientos del Receptor	191
5.3.1	Sensibilidad	191
5.3.2	Selectividad de Canal Contiguo	193
5.3.3	Intermodulación	193

5.3.4 Receptor de Diversidad y Tipos de Receptor	194
5.3.5 Nivel Máximo de Entrada	196
5.4 Referencias	197
<b>CAPITULO VI:</b>	<b>198</b>
Conclusiones	199
Recomendaciones	201
Bibliografía	202
Glosario de Términos	204
Anexos	215

## INTRODUCCION

Las telecomunicaciones se encuentran en continuo cambio, buscando cada día ofrecer una solución a lo que el mercado demanda. Ahora no solo se espera buena calidad en la transmisión de voz sobre la red celular; sino también, los abonados solicitan calidad en la transferencia de datos, ya que en este mundo globalizado las personas necesitan siempre de un acceso a internet que les permita estar conectados con el mundo. De este modo las tecnologías móviles se ven obligadas a evolucionar de manera increíble, ya que en un par de años se ha pasado de la velocidad de transferencia de datos de 171 a 512 Kbps con UMTS y poco tiempo después se pasó a 14Mbps con HSPA en el enlace de bajada y de 5.76Mbps para el enlace de subida, velocidades de transferencia de datos que hace unos 10 años no eran ni imaginadas.

Pero ¿Qué es HSPA?, el Acceso a Paquetes a Alta Velocidad (de sus siglas en ingles High Speed Packet Access) fue desarrollado por la 3GPP buscando definir un nuevo método de acceso radio a alta velocidad para los sistemas de comunicación móvil. Esta tecnología es dividida en dos ramas de las cuales una se encarga de todo lo relacionado con la mejora del desempeño del enlace de bajada conocida como HSDPA (también llamada generación 3.5 o también como 3G+) incluida en las especificaciones de 3GPP de la Edición 5 que básicamente consiste de la incorporación de un nuevo canal compartido a alta velocidad y la otra que se encarga de todo lo relacionado con las mejoras del desempeño del enlace de subida conocido como HSUPA (también llamada generación 3.75) este es incluido en las especificaciones de 3GPP en la Edición 6 que consiste en el empleo de un canal compartido mejorado. Con HSPA la capacidad de la red celular se acerca a las velocidades entregadas por las redes cableadas, ya que fue posible alcanzar velocidades para el enlace bajada de hasta 14Mbps y hasta 5.8 Mbps para el enlace de subida<sup>1</sup>. HSPA mejora la eficiencia del espectro UMTS a través de ciertas características que fueron introducidas como lo son las nuevas técnicas de

---

<sup>1</sup> Datos tomados de [www.3gpp.org](http://www.3gpp.org)

modulación, reducción de la longitud del marco (frame) radio entre otras. En la trayectoria evolutiva de la tecnología celular HSPA es la tecnología antecesora a la cuarta generación (4G también conocida como LTE, Long Term Evolution).

En el presente documento se encuentran reunidos un conjunto de conceptos tomados de distintas fuentes de investigación y que han sido reunidos con el fin de brindar al lector con información sobre la tecnología HSPA con la cual el lector a través de los capítulos podrá ir adquiriendo los conocimientos necesarios que le ayudaran a entender esta tecnología. En el trabajo se parte tomando como base que se tienen los conocimientos necesarios de la Edición 99 (WCDMA) de 3GPP.

## **B) OBJETIVOS**

### **B.1) OBJETIVO GENERAL:**

- Elaboración de monografía sobre HSPA que brinde al lector los conocimientos básicos necesarios para poder comprender dicha tecnología, desarrollando temas que son claves para el entendimiento de la misma.

### **B.2) OBJETIVOS ESPECIFICOS:**

- Presentar información acerca de arquitectura, protocolos y estándar HSPA
- Documentar los principios de HSDPA y HSUPA.
- Ofrecer información sobre el manejo de recursos de radio, capacidad, cobertura y tasa de transferencia.
- Documentar los requisitos de radio frecuencia para un terminal HSPA.

## **C) ALCANCES Y LIMITANTES DE LA INVESTIGACION**

### **C.1) ALCANCES**

- La monografía contendrá información sobre el marco de trabajo de HSPA, así como el estándar y desarrollo del mismo dentro de 3GPP.
- La documentación profundizará en los impactos de HSPA en la red radio y en la arquitectura de los protocolos al igual que las funcionalidades e interfaces de los elementos de la red.
- La monografía contendrá información que describirá como trabaja HSPA (HSDPA y HSUPA) operación, retransmisiones y adaptación de enlace.
- La documentación profundizará en las claves de la tecnología como son los canales físicos, canales lógicos y los procedimientos necesarios para la implementación de la funcionalidad HSPA.
- La documentación contendrá documentación y/o experiencias de otros investigadores de esta tecnología.

### **C.2) LIMITANTES**

- Se excluye de la investigación y de la documentación a elaborar la profundización en tecnologías precedentes a HSPA, como lo son CDMA, GSM, GPRS, EDGE, UMTS y WCDMA.
- Se excluye de la investigación la profundización en marcas o equipos específicos.

- La investigación será teórica no llevándose a cabo la realización de pruebas en laboratorio.
- En la investigación se excluirá hacer énfasis o ahondar en conceptos generales de redes celulares, ya que se dará por sentado que la persona que lee la información tiene un conocimiento general sobre ellas.
- Se excluye de la investigación y de la documentación a elaborar la profundización en tecnologías paralelas a HSPA, como lo son Evolved HSPA o Wimax.

**CAPITULO I**

**“EVOLUCION DE LA TECNOLOGIA MOVIL Y  
EL MARCO DE TRABAJO DE HSPA DENTRO  
DE 3GPP”**

## **1.1. Introducción**

En este capítulo se presenta la evolución de la tecnología celular desde la llamada primera generación hasta la generación tres punto setenta y cinco, pasando por diferentes etapas que se basaban en diferentes tipos de tecnologías que fueron cambiando buscando cubrir las necesidades de los abonados que cada día exigían mejores servicios y mayores prestaciones de parte de la red celular, entre dichas tecnologías se pueden mencionar: el Acceso Múltiple por División de Frecuencia en la primera generación, el Sistema Global para las Comunicaciones Móviles y el Acceso Múltiple por División de Código en la segunda generación, el Sistema Universal de Telecomunicaciones Móviles para la tercera generación y por último el Acceso a Paquetes a Alta Velocidad en la generación tres punto cinco y tres punto setenta y cinco. Luego se explica el estándar de HSPA, su desarrollo dentro de 3GPP<sup>1</sup>, la relación que existe entre 3GPP e ITU<sup>2</sup> en el proceso de desarrollo de HSPA y para finalizar se verá la evolución de la capacidad de radio con HSPA.

## **1.2. Evolución de la Tecnología Móvil Celular**

### **1.2.1. Primera Generación (1G)**

La Primera Generación (1G) de la telefonía móvil dio inicio en 1979, aunque esta se desarrollo durante los años 80s. Con la 1G se introdujo la telefonía celular basada en redes con múltiples estaciones base relativamente cercanas unas de otras, introduciendo también los protocolos para el "traspaso" entre celdas cuando el teléfono se movía de una a otra celda.

Las principales características de esta generación son la transferencia analógica y que esta era dedicada estrictamente para voz. Con calidad de enlaces muy

---

<sup>1</sup> Ente encargado de la regulación de HSPA que es un acuerdo de colaboración en tecnología de telefonía móvil, esta cooperación es entre ETSI, ARIB/TTC, CCSA, ATIS y TTA.

<sup>2</sup> Union Internacional de Telecomunicaciones.

reducida, la velocidad de conexión no era mayor a (2400 baudios<sup>3</sup>). Con respecto a la transferencia de llamadas entre celdas, esta era muy imprecisa ya que contaba con una baja capacidad basada en el Acceso Múltiple por División de Frecuencia (Frequency Division Multiple Access, FDMA), lo que limitaba la cantidad de usuarios que el servicio podía ofrecer en forma simultánea.

Con lo que respecta a la seguridad del sistema, las medidas preventivas no formaban parte primordial de esta telefonía celular. La tecnología predominante de esta generación es el Sistema de Teléfono Móvil Avanzado (Advanced Mobile Phone System, AMPS), desarrollada principalmente por Bell. Otro sistema conocido en esta generación fue el Sistema de Comunicación de Acceso Total (Total Access Communication System, TACS) que fue introducido en el Reino Unido y muchos otros países.

La información con la voz era transmitida en forma de frecuencia modulada al proveedor del servicio. Se hacía uso de un canal de control para habilitar el traspaso a otro canal de comunicación de serlo necesario. La frecuencia de los canales era distinta para cada sistema.

El tamaño de los terminales era mayor ya que solo se había pensado en movilidad y no en portabilidad; fueron originalmente diseñados para el uso en los automóviles. La primera compañía en introducir un teléfono realmente portátil fue Motorola.

La primera red celular con roaming<sup>4</sup> automático comenzó en Arabia Saudita en Septiembre de 1981; siendo un sistema de la compañía NMT. Más tarde los países Nórdicos comenzaron una red NMT con roaming automático entre países.

---

<sup>3</sup> Es la velocidad de conmutación, o el número de transiciones (cambios de voltaje o de frecuencia) que se realiza por segundo.

<sup>4</sup> Roaming o itinerancia es un concepto usado para referirse a la capacidad de un dispositivo de moverse de una zona de cobertura a otra.

### **1.2.2. Segunda Generación (2G)**

Lo que caracterizó a la Segunda Generación (2G) fue la conmutación de circuitos digitales y el uso del Acceso Múltiple por División de Tiempo (Time Division Multiple Access, TDMA) para de este modo conseguir que hasta ocho usuarios utilizaran los canales separados por 200MHz.

Las tecnologías dominantes de esta generación son: el Sistema Global para las Comunicaciones Móviles (Global System for Mobile Communications, GSM); IS-136 (conocido también como TIA/EIA136 o ANSI-136), Acceso Múltiple por División de Código (Code Division Multiple Access, CDMA) y Comunicaciones Digitales Personales (Personal Digital Communications, PDC), éste último fue utilizado en Japón.

### **1.2.3. Generación 2.5G**

Luego que la segunda generación se asentó como una tecnología aceptada, se hicieron evidentes las limitaciones que esta poseía en lo referente al envío de información. Como respuesta a eso se desarrollaron tecnologías tales como el Servicio General de Paquetes Vía Radio (General Packet Radio Service, GPRS) que fue desarrollado sobre la base de la red GSM. El nuevo sistema permitía el uso eficiente de los canales de comunicación ya que posibilita a los usuarios compartir un mismo canal, dirigiendo los paquetes de información desde el emisor al receptor.

Mejoras en la tasa de transferencia de información fueron dadas con la introducción del sistema conocido como Tasa de Datos Mejorada para la Evolución de GSM (Enhanced Data Rates for GSM Evolution, EDGE) conocida también como GPRS Avanzado (Enhanced GPRS). Éste es el sistema GPRS con un nuevo esquema de modulación de frecuencia.

GPRS y EDGE fueron aplicados al sistema GSM, por su parte otras mejoras fueron orientadas al sistema CDMA, siendo el primer paso de CDMA a CDMA2000 1x.

La Generación dos punto cinco (2.5G) provee algunos de los beneficios que se vislumbraban para las redes de Tercera Generación (por ejemplo conmutación de paquetes)

#### **1.2.4. Tercera Generación (3G)**

Los sistemas de Tercera Generación (3G) fueron estandarizados por el proceso IMT-2000<sup>5</sup>. Lo diferencial de este proceso es que no se estandarizó una tecnología como tal, sino una serie de requerimientos que deberían de cumplirse (por ejemplo 2 Mbit/s de transferencia de datos en ambientes cerrados, y 384 kbit/s en ambientes abiertos).

Existen tres tecnologías que han sido desarrolladas para 3G. En Europa existe el Sistema Universal de Telecomunicaciones Móviles (Universal Mobile Telecommunications System, UMTS) usando CDMA de Banda Ancha (W-CDMA). Además se encuentran las evoluciones de CDMA2000. La primera en ser lanzada fue CDMA2000 1xEV-DO, donde EV-DO viene de Evolution Data Only.

CDMA2000 tuvo otra evolución la cual es conocida como CDMA2000 1xEV-DV. Esta es la evolución del sistema 1X que es totalmente distinto a CDMA2000 1xEV-DO, ofreciendo servicios de voz y datos. Este sistema es compatible con CDMA y CDMA2000 1X.

---

<sup>5</sup> Telecomunicaciones Móviles Internacionales 2000 (International Mobile Telecommunications 2000 ,IMT-2000) es el estándar mundial para la tercera generación de redes de comunicaciones inalámbricas 3G

### 1.2.5. Tecnología WCDMA y su Desarrollo

En el año 2002 fue lanzado el primer Proyecto de Colaboradores para Tercera Generación (Third Generation Partnership Project, 3GPP) para la red WCDMA. A finales de 2005 había cien redes WCDMA y un total de ciento cincuenta operadores poseían licencia de frecuencias para la operación de dicha red. Actualmente las redes WCDMA son desarrolladas en la banda de UMTS de los 2 Ghz en Europa y Asia incluyendo Japón y Corea. WCDMA en América es desarrollado en la banda de los 850 y 1900Mhz. 3GPP tiene definida la operación de WCDMA en otras bandas, las cuales se espera sean puestas en servicio en los próximos años.

El número global de suscriptores de WCDMA fue de 50 millones para Febrero de 2006 y para finales de 2007, WCDMA representaba el 70% de la red comercial 3G, con 190 redes en 83 países y más de 160 millones de suscriptores. Unos 75 millones de suscriptores fueron incorporados entre Septiembre de 2006 y Septiembre de 2007, a lo largo de 2007 WCDMA experimento un promedio de crecimiento de 6.6 millones de suscriptores por mes como puede encontrarse en la referencia [1].

La penetración de WCDMA está siendo sumamente rápida, dado que permite a la red portar un alto monto de tráfico de voz y datos de forma compartida. Las ventajas que la tecnología WCDMA ofrece a los operadores no se limitan al hecho de habilitar el manejo de datos, sino también a la vez mejora los servicios básicos de voz. La capacidad de voz ofrecida es muy alta porque el mecanismo de interfaz de control incluye re-uso de frecuencia, control rápido de potencia, “soft handover”<sup>6</sup> y en además una alta eficiencia espectral, 3G WCDMA provee una dramática evolución en términos de capacidad de estaciones base y eficiencia de hardware. El alto nivel de integración en WCDMA es alcanzado dado al ancho de banda de la portadora. Un extenso número de usuarios son soportados por portadora, y menor

---

<sup>6</sup> Sistema utilizado en comunicaciones móviles celulares con el objetivo de transferir el servicio de una estación base a otra cuando la calidad del enlace es insuficiente.

cantidad de portadoras son necesarias para proveer la misma calidad de cobertura que en 2G. Con menor monto necesario de radio frecuencia (RF) y mas procesamiento digital de banda base, WCDMA puede tomar beneficio de la rápida evolución de la capacidad de procesamiento digital. Los altos niveles de integración de radio base permiten construir una alta capacidad en los sitios permitiendo abolir los complejos combinadores de RF, antenas extras o feeder's.

Los operadores de WCDMA están es la capacidad de proveer interesantes servicios de datos incluyendo gestores de búsqueda, video llamadas persona a persona, video clips y hasta televisión móvil. WCDMA posibilita simultáneamente voz y datos, lo cual permite por ejemplo, búsquedas en internet o envío/recepción de e-mails durante una conferencia de voz, o compartir video en tiempo real durante una llamada de voz. Los operadores también ofrecen conexión móvil a internet e intranet corporativa con una máxima tasa de bit de 384 Kbps para enlace de bajada (Downlink)<sup>7</sup> y subida (Uplink)<sup>8</sup>.

### **1.3. Estándar HSPA y el Esquema de su Desarrollo**

El Acceso a Paquetes por Enlace de Bajada de Alta Velocidad (High-speed Downlink Packet Access, HSDPA) fue estandarizado como parte de la quinta edición (release) de 3GPP con la primera versión de su especificación en Marzo de 2002. El Acceso a Paquetes por Enlace de Subida de Alta Velocidad (High-speed Uplink Packet Access, HSUPA) fue parte de la sexta edición (release) con su primera versión de su especificación en Diciembre de 2004. HSDPA y HSUPA juntos son llamados Acceso a Paquetes a Alta Velocidad (High –Speed Packet Access, HSPA). La primera red comercial de HSDPA fue lanzada para finales de 2005 y la primera red HSUPA a mediados de 2007. Un esquema de la evolución de HSPA es mostrado en la Figura 1.1

---

<sup>7</sup> Envío de datos sobre la interface aire desde el Nodo B hacia la UE.

<sup>8</sup> Envío de datos sobre la interface aire desde el UE hacia el Nodo B.

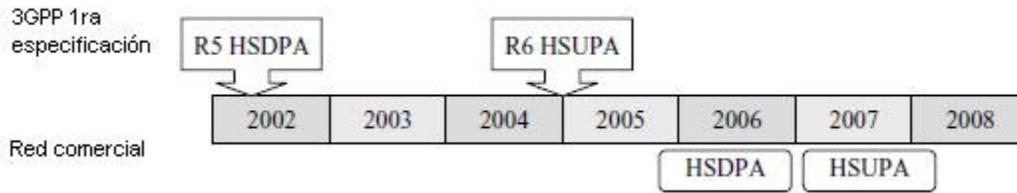


Figura 1.1 Estandarización y Modelo de Desarrollo de HSPA.

El pico para la transmisión de datos disponible en los terminales HSDPA fue inicialmente de 1.8 Mbps y ha ido incrementado hasta 3.6 y 7.2 Mbps durante los años, potencialmente se estima que ya ha llegado a unos 10 Mbps. El pico de transmisión de datos para HSUPA fue inicialmente de 1 a 2 Mbps con la segunda fase se logro alcanzar entre 3 y 4 Mbps. La expectativa de la evolución de la tasa de transmisión de datos es mostrado en la Figura 1.2

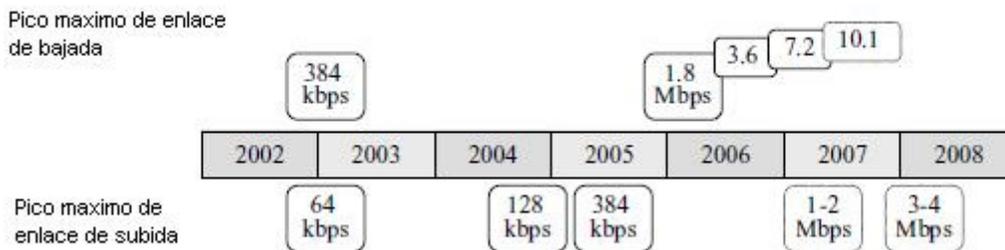


Figura 1.2 Evolución de la velocidad de transmisión para WCDMA y HSPA.

HSPA es desarrollado sobre la base de la red WCDMA ya sea usando una misma portadora (alta capacidad y alta velocidad de transmisión de datos) o usando alguna otra, ver Figura 1.3. En ambos casos, HSPA y WCDMA pueden compartir todos los elementos de la red tanto en el Núcleo de Red (Core Network, CN) como en la parte de radio incluyendo estaciones base, Controladores de la Red de Radio (Radio Network Controller, RNC), Nodo de Soporte de Servidor GPRS (SGSN) y el Nodo de Soporte de Computera GPRS (GGSN).

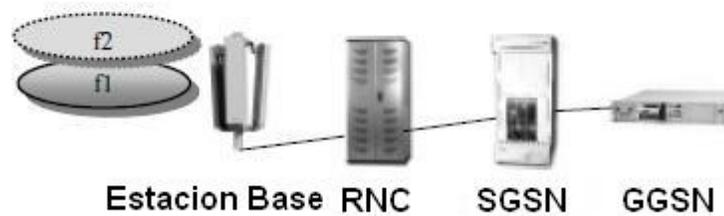


Figura 1.3 HSPA desarrollada con “f2” como nueva portadora y “f1” portadora compartida entre WCDMA y HSPA.

El paso de WCDMA hasta HSPA requiere de nuevos paquetes de software y potencialmente algunas nuevas piezas de hardware en las estaciones base y en la RNC para soportar las altas velocidades de transmisión de datos. Del hecho de que la estructura entre WCDMA y HSPA es compartida el costo de actualización desde WCDMA a HSPA es muy bajo comparado con el hecho de construir una red completamente nueva.

Los primeros terminales HSDPA son tarjetas de datos que proveen conexión de alta velocidad para laptops.

#### 1.4. Evolución de la Capacidad de Radio con HSPA

El desempeño de los sistemas de radio se define como la facilidad con la cual las aplicaciones pueden usarse sobre la red de radio. Los parámetros claves que definen el desarrollo de aplicaciones incluyen velocidad de transmisión de datos y latencia de la red. Hay aplicaciones que pueden trabajar con baja velocidad de transmisión de datos nada mas unos cuantos kbps<sup>9</sup> pero requieren muy poco retraso en su transmisión, entre ese tipo de aplicaciones se pueden encontrar voz sobre IP (VoIP) y juegos que requieren acción en tiempo real. Por otro lado, el tiempo de descarga de un archivo es solo definido por la velocidad máxima de transmisión, y la latencia no juega ningún rol importante. GPRS Edición 99 provee

<sup>9</sup> Kilo bits por segundo.

de 30-40 kbps con una latencia de 600 ms, EGPRS Edición 4 entrega una velocidad de transferencia de datos de 3-4 veces más alta y también reduce la latencia por debajo de los 300 ms. La velocidad de transferencia de datos y la latencia de EGPRS permite el desarrollo de aplicaciones para las cuales estos factores son importantes incluyendo el protocolo de aplicaciones inalámbricas (Wireless Application Protocol, WAP) y el “push to talk”.

WCDMA habilita el pico de velocidad de transmisión de datos en 384 kbps con una latencia de 100-200 ms, lo cual hace el acceso a Internet lo suficientemente cercano a una conexión de Línea Digital de Subscriptor (Digital Subscriber Line, DSL) y provee un buen desempeño para aplicaciones del protocolo de Internet (IP) que requieren bajo desfase.

HSPA provee una velocidad de transmisión de datos hasta de 1-2 Mbps en la práctica y en buenas condiciones más allá de 3 Mbps. HSPA también reduce la latencia de la red por debajo de los 100 ms, el usuario final experimenta un desempeño similar al de las red de conexión fija DSL. Muy pocos cambios son requeridos para adaptar las aplicaciones de Internet para el ambiente móvil. Esencialmente, HSPA es un acceso de banda ancha con extensa cobertura. La evolución de la capacidad de radio desde GPRS hasta HSPA es mostrada en la Figura 1.4

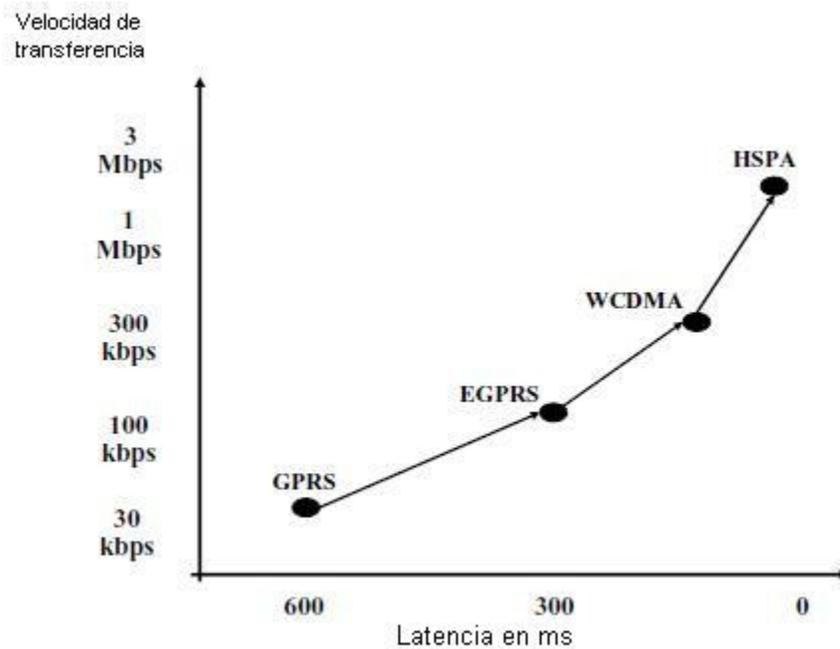


Figura 1.4 Capacidad de la Red de Radio

HSPA fue inicialmente diseñado para soportar alta velocidad de transmisión de datos para servicios que no lo requerían en tiempo real, sin embargo, HSPA puede proveer atractiva capacidad también para aquellas aplicaciones que requieren una baja latencia de red como VoIP. 3GPP Ediciones 6 y 7 proveen mejoras en la eficiencia de HSPA para VoIP y otras aplicaciones similares.

Alta capacidad de celdas y alta eficiencia espectral son requeridas para proveer una alta tasa de transmisión de datos y nuevos servicios en las ya establecidas estaciones base. La Figura 1.5 muestra la capacidad de celda estimada por sector para 5 MHz con WCDMA, con HSPA básico y con HSPA mejorado en un ambiente con macro celdas. HSPA básico incluye una antena receptora en el terminal y dos antenas de diversidad en las estaciones base. HSPA mejorado incluye dos antenas equalizadoras de móviles y una interface de cancelación en la estación base. Los resultados de la simulación muestran que HSPA puede proveer beneficios substanciales de capacidad. HSDPA básico ofrece hasta tres veces la capacidad de

enlace de bajada (downlink) de WCDMA y HSDPA mejorado hasta seis veces la capacidad de WCDMA. La eficiencia espectral de HSDPA mejorado es cercana a 1 bit/s/Hz/celda. La capacidad del enlace de subida (uplink) mejorado con HSUPA es estimado entre 30% y 70%. La capacidad de HSPA es naturalmente diseñada no solo para soportar servicios simétricos, sino también servicios asimétricos con alta tasa y volúmenes de downlink.

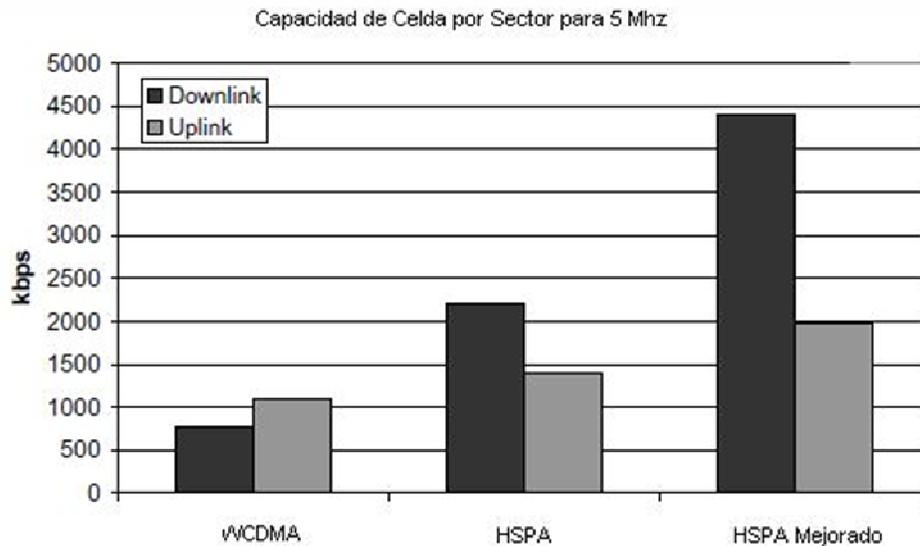


Figura 1.5 Evolución de la Capacidad con HSPA.

## 1.5. Estándar HSPA

### 1.5.1. 3GPP

El Proyecto de Colaboradores para Tercera Generación (3GPP) es el fórum donde se lleva a cabo el proceso de estandarización para HSDPA y HSUPA, de la misma manera como ha manejado desde la primera liberación las especificaciones para WCDMA, 3GPP es también responsable por el estándar de GSM/EDGE. Los inicios de 3GPP se dieron en los días en los que la tecnología WCDMA estaba siendo estandarizada siguiendo la selección de tecnología en diferentes regiones

del mundo durante 1997. Luego de eso, WCDMA fue elegida en muchos lugares como la base para la tercera generación de sistemas de comunicación móvil y había actividades regionales alrededor de los principios de esta tecnología. Llego a ser evidente, sin embargo, que esta no podría ser llevada como un único estándar global alineado por unos pocos niveles de detalle. De este modo, a finales de 1998 Estados Unidos, Europa, Corea y Japón se unieron y crearon 3GPP. China se les unió un poco después.

El primer hito fue impulsado a finales de 1999 cuando la Edición 99 de especificaciones fue publicada, conteniendo la primera serie completa de especificaciones de WCDMA. La Edición 4 de especificaciones siguió en los primeros meses de 2001. El método de trabajo fue movido de la Edición 99 a la Edición 4 desechando el principio que el número de la liberación hacía referencia al año de su publicación. El ciclo de ediciones es hecho a lo largo de todo un año, lo cual permite la elaboración de ediciones más grandes con menos intervalos de frecuencia. Esto permite tener más consideración de qué es el contenido necesario que debe poseer una edición ya que cuando las ediciones son publicadas la información que estas contienen debe de ser necesaria. La Edición 5 siguió en 2002 y la Edición 6 en 2004. Las especificaciones de la Edición 7 estuvieron disponibles para finales de 2006. Como se muestra en la Figura 2.1, aun que las primeras versiones de fueron desarrolladas hasta principios de 2006.

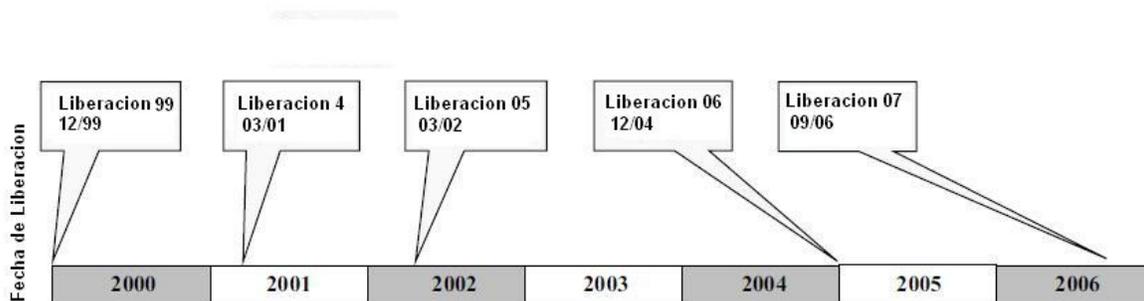


Figura 2.1 Línea de tiempo que indica fecha de liberaciones 3GPP.

3GPP originalmente tuvo cuatro diferentes grupos de especificaciones técnicas (Technical Specification Groups, TSGs), como muestra la figura 2.2:

- TSG RAN (Radio Access Network). TSG RAN se enfoca en la interface de radio y las interfaces internas entre las Estaciones Base de Transcivers (Base Transceiver Stations, BTSs)/RNC al igual que de la interface entre la RNC y el Núcleo de Red (Core Network, CN). Los estándares HSDPA y HSUPA fueron considerados bajo la responsabilidad de TSG RAN.
- TSG CT (Core and Terminals). TSG CT se enfoca en los asuntos del CN y capas de señalización desde el CN y el Terminal.
- TSG SA (Service y System Architecture). TSG SA se enfoca en los servicios y sobre todo en la arquitectura del sistema.
- TSG GERAN (GSM/EDGE RAN). TSG GERAN cubre asuntos similares a TSG RAN pero para interfaces basadas en GSM/GPRS/EDGE.

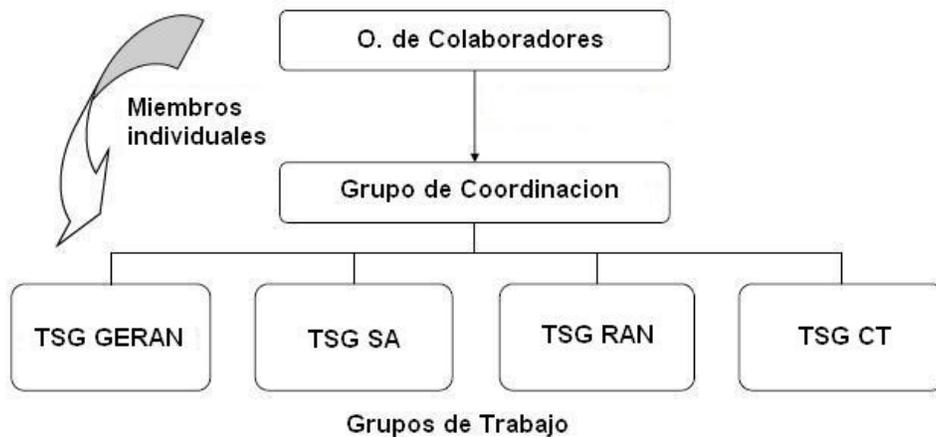


Figura 2.2 Estructura 3GPP

### **1.5.2. Relación entre 3GPP e ITU**

La 3GPP es reconocida por la Unión Internacional de Telecomunicaciones (International Telecommunication Union, ITU) como una de las fuentes de las especificaciones técnicas para la familia de Telecomunicaciones Internacionales Móviles 2000 (International Mobile Telecommunications-2000, IMT-2000)<sup>10</sup>. Existe un acuerdo/entendimiento entre las dos partes, en el cual se incluye que los resultados de 3GPP serán presentados a la ITU, con el fin de verificar que se cumple con los requerimientos que han sido especificados para las tecnologías IMT-2000. A pesar que el estatus del proyecto no contribuye directamente con la ITU, se dan contribuciones formales al grupo de estudio de la ITU, basadas en especificaciones técnicas de 3GPP. Los reportes técnicos son hechos por miembros u OP's (Organizational Partners) quienes son miembros de la ITU.

La ITU ha confiado el trabajo de desarrollo del estándar necesario para los sistemas 3G a grupos tales como 3GPP, 3GPP2, UWCC y ETSI. Para sus distintas partes, la ITU está enfocada en las interfaces entre miembros de la familia IMT-2000 con el fin de asegurar operaciones transparentes para el usuario final. Un número notable de especificaciones 3GPP, enfatizadas en la parte de UTRAN, han sido aceptadas por la ITU como un componente esencial de sus IMT. 3GPP continúa contribuyendo al proceso de desarrollo de IMT con actualizaciones de recomendaciones para la ITU y mejorando las recomendaciones ya existentes.

### **1.5.3. Estandarización de HSDPA en 3GPP**

Cuando la Edición 99 fue terminada, HSDPA o HSUPA no estaban aun en la agenda. Durante el año 2000, mientras también se elaboraban las correcciones para la Edición 99 de WCDMA y trabajando en la Edición 4 para incluir, por ejemplo, CDMA Síncrono por División de Tiempo (Time division synchronous CDMA, TD-SCDMA), comenzó a ser obvio que algunas mejoras en el acceso de paquetes

---

<sup>10</sup> Es el estándar mundial para redes inalámbricas de tercera generación (3G) aprobado por la ITU

podrían ser necesarias. Para permitir una evolución, un estudio de factibilidad<sup>11</sup> para HSDPA fue iniciado en Marzo de 2000. Como se mostro en el estudio de elementos<sup>12</sup> propuesto, como puede encontrarse en la referencia [2], el trabajo fue iniciado en línea con los principios de 3GPP, teniendo por lo menos 4 compañías de apoyo. Las compañías que apoyaron el inicio del trabajo para HSDPA fueron Motorola y Nokia desde el lado del vendedor y BT/Cellnet, T-Mobile and NTT DoCoMo desde el lado del operador.

El estudio de factibilidad fue plenamente finalizado por la TSG RAN para Marzo de 2001 y las conclusiones reportadas (como puede encontrarse en referencia [2]) demostraron que había claros beneficios para ser visto con la solución a ser analizada.

En el estudio de elementos de HSDPA había tópicos tomados en cuenta para mejorar el enlace de bajada para transmisión de paquetes sobre las especificaciones de la Edición 99. Tópicos tales como retransmisión de capa física y BTS basada en programador de paquetes fueron estudiados al igual que codificación adaptativa y modulación. El estudio también incluyo algunas investigaciones para transmisión por multi antena y tecnologías de recepción, titulado “Múltiples Entradas Múltiples Salidas” (Multiple Input Multiple Output, MIMO), al igual que Selección de Celdas a Alta velocidad (Fast Cell Selection, FCS).

Como el estudio de factibilidad demostró claramente que era posible de alcanzar una mejora significativa con razonable complejidad, fue suficiente para proceder con un trabajo de elementos<sup>13</sup> para el desarrollo de especificaciones. Cuando el trabajo de elementos fue concluido el ámbito del trabajo fue en la misma línea con el

---

<sup>11</sup> Es un proceso en el cual se define exactamente qué es el proyecto y qué estrategias son necesarias a ser consideradas para su factibilidad. Este proceso envuelve hacer decisiones racionales sobre un número de características relacionadas con el proyecto.

<sup>12</sup> Define todos los requerimientos y divisiones generales en un poyecto.

<sup>13</sup> Puede ser un nuevo estándar o una revisión para un estándar existente que está bajo desarrollo por un comité.

estudio de elementos, pero MIMO fue tomado como un trabajo de elementos separado y un estudio de factibilidad separado fue iniciado también para FCS. Para el trabajo de elementos de HSDPA había un gran número de proveedores apoyando, desde el lado del vendedor por Motorola, Nokia y Ericsson. Durante el curso del trabajo, un número mayor de compañías contribuyeron al progreso tecnológico.

La Edición 5 de especificaciones con HSDPA fueron lanzadas en Marzo de 2002, había aun claramente correcciones por hacer para HSDPA, pero el núcleo funcional estaba listo en las especificaciones de la capa física. El trabajo fue parcialmente retardado por la actividad de las correcciones paralelas necesarias para la Edición 99 para los terminales y la red aun estaba en fase de prueba. Especialmente con aspectos del protocolo, un sin número de pruebas fueron llevadas a cabo arrojando detalles que necesitaban corrección y clarificación dentro de las especificaciones y este fue el caso con la Edición 99 para dispositivos, precediendo el inicio de las operaciones comerciales en Europa para la segunda mitad de 2002. El mayor tiempo fue tomado por las partes del protocolo HSDPA, en la cual se definía la compatibilidad con las tecnologías anteriores el cual fue iniciado en Marzo de 2004.

Otros temas relacionados con HSDPA y el trabajo de elementos de MIMO no estuvieron completos para la Edición 5 o la Edición 6, y aun estuvieron mucho tiempo después en discusión relacionado con el hecho de si habían suficientes meritos para introducirlos como tópicos listados en la Edición 7. El estudio de factibilidad de FCS concluyo que los beneficios eran limitados por lo cual la extensión de complejidad adicional podría no ser justificada, ningún trabajo fue elaborado alrededor de FCS después que el estudio fue cerrado. Mientras el enfoque fue más por el lado de la división dúplex de frecuencia (FDD), división dúplex de tiempo (TDD) también fue cubierto en el trabajo desarrollado para

HSDPA incluyendo soluciones similares para ambos modos de TDD (banda ancha y banda angosta).

#### **1.5.4. Estandarización de HSUPA en 3GPP**

A pesar que HSUPA es un término ampliamente usado en el mercado, en 3GPP el estándar para HSUPA fue elaborado bajo el nombre de Canal Dedicado para Enlace de Subida Mejorado (Enhanced Uplink Dedicated Channel, E-DCH). El trabajo dio inicio durante la fase de correcciones para HSDPA, comenzando con el estudio de elementos llamado “Canales de Transporte Dedicados para Enlace de Subida Mejorados” (Uplink Enhancements for Dedicated Transport Channels) en Septiembre de 2002. Del lado de los vendedores, Motorola, Nokia y Ericsson fueron las compañías que dieron el apoyo inicial para el estudio en 3GPP.

Las técnicas de investigación en el estudio para HSUPA (E-DCH) fueron, como se muestra en la Figura 2.3:

- Capa física para alta velocidad Hybrid-ARQ (Requerimiento de Repetición Automático Híbrido, HARQ) para enlace de subida;
- Nodo B para alta velocidad basado en programador de enlace de subida;
- Pequeños intervalos tiempo para la transmisión de enlace de subida;
- Modulación de alto orden;
- Rápido establecimiento de DCH.

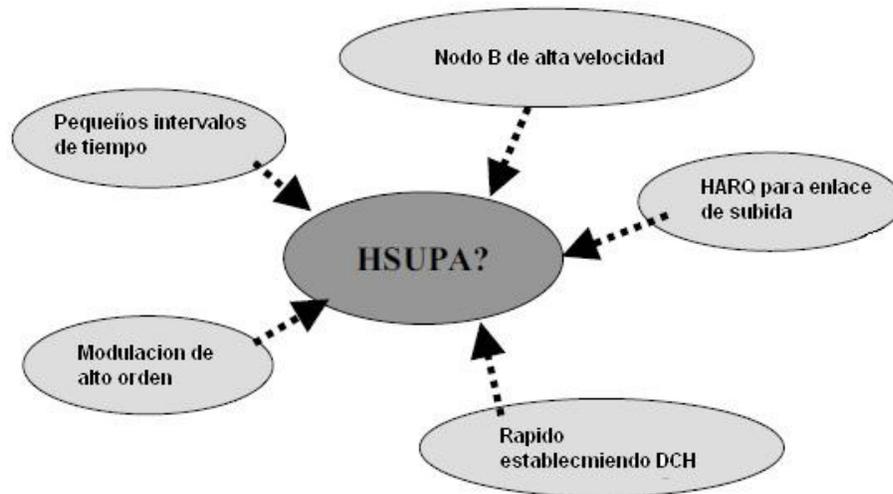


Figura 2.3 Técnicas de investigación para HSUPA

Después de un largo y detallado trabajo que procedió a lo reportado por el estudio de elementos, fueron mostrados claros beneficios con las técnicas investigadas. El reporte no mostro ganancia potencial con el uso de modulación de alto orden en la dirección del enlace de subida, lo cual influyo a que la modulación adaptativa no fuera incluida en el trabajo de elementos.

Como conclusión, el estudio de elementos, finalizado en Marzo de 2004, recomendó el comienzo de un trabajo de elementos en la 3GPP para especificar una capa física de alta velocidad HARQ y un Nodo B basado en mecanismo de programación para el enlace de subida al igual que pequeños intervalos de tiempo en el enlace de subida. También, el mecanismo de establecimiento rápido para DCHs fue dejado fuera de la recomendación para un trabajo en 3GPP, pero esos detalles fueron parcialmente cubiertos a través diferentes trabajos de elementos para el lanzamiento de la Edición 6 de especificaciones 3GPP, basado en lo encontrado durante la fase del estudio de elementos.

3GPP inicio un trabajo de elementos titulado “Enlace de Subida Mejorado FDD” (FDD Enhanced Uplink) para especificar las características de HSUPA de acuerdo

con las recomendaciones que reporto el estudio. La parte de TDD no fue desarrollada al mismo tiempo, pero fue trabajada en la Edición 7.

En Marzo de 2005 el trabajo de elementos fue oficialmente completado para las especificaciones funcionales, lo cual significó que las características técnicas fueron movidas para la fase de corrección y mantenimiento. Durante el resto de 2005 los asuntos aun inconclusos al igual que los requerimientos de desarrollo fueron finalizados. El proceso de estandarización de 3GPP para HSUPA es mostrado en la Figura 2.4. El paso final para HSUPA fue la conclusión de los protocolos de compatibilidad, lo cual permitió el establecimiento de una edición para dispositivos que fue introducida en el mercado. Este tomó lugar en Marzo de 2006 para cuando la revisión de ASN.1 estaba programada para ser finalizada (ASN.1 es el protocolo de señalización de lenguaje de codificación de mensaje usado en 3GPP en muchos protocolos).



Figura 2.4 Proceso de estandarización en 3GPP tomando HSUPA como ejemplo.

### **1.6. Desarrollo de HSUPA y HSDPA**

Cuando HSUPA estaba siendo especificado, hubo desarrollos para mejorar la Edición 6 de HSDPA al igual que en muchas áreas, tales como:

- Desarrollo de especificaciones para terminales más avanzados con diversidad de receptores y/o receptores más avanzados.
- Rango de enlace de subida mejorado con retroalimentación (feedback) de señalización de enlace de subida optimizado,
- Mejoras en el área de la movilidad de HSDPA por señalización de alta velocidad y pequeños procesamientos de tiempo,

Para la Edición 7 fue definido un trabajo de elemento, titulado “Conectividad Continua para Paquetes de Datos de Usuarios” (Continuous Connectivity for Packet Data Users), dirigido para reducir el solapamiento durante el servicio que requiere mantener el enlace pero que no requiere necesariamente el flujo continuo de datos. Un ejemplo de tales servicios podría ser el servicio de voz basado en paquetes, a menudo conocido como “Voz sobre IP” (Voice over Ip, VoIP).

El trabajo de elementos de MIMO cuyos principios claves son tener dos (o más) antenas transmisoras con al menos diferencias parciales de flujo de información, el uso de dos o más antenas y el procesamiento avanzado de la señal en el terminal para separar los diferentes sub-flujos, se mantuvo mucho tiempo en discusión hasta que finalmente fue aceptado en la Edición 7, el principio es ilustrado en la Figura 2.5

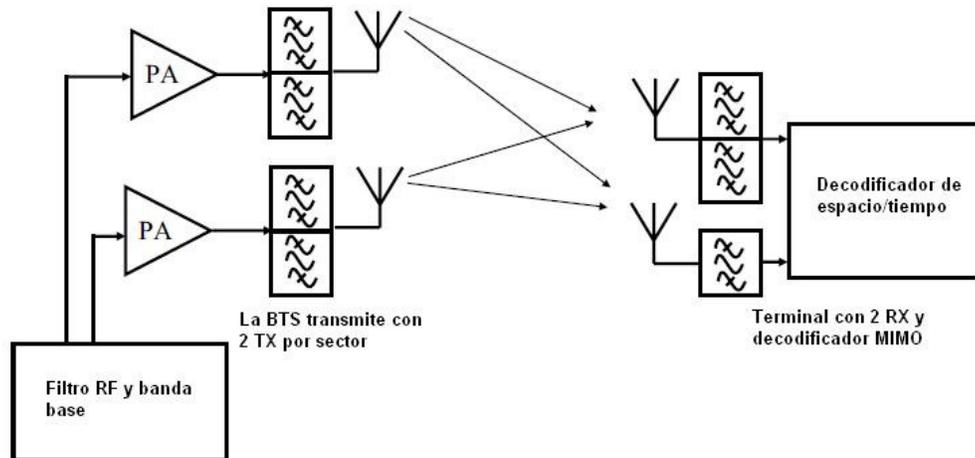


Figura 2.5 Principio de MIMO con 2 antenas transmisoras y dos receptoras.

La clave era demostrar si había suficiente incremento de ganancia tomando en cuenta las mejoras desarrolladas en el receptor para la Edición 6 o si existían otras alternativas para mejorar la capacidad agregando más transmisores tal como sigue desde una configuración de tres sectores a seis sectores. La conclusión que fue dada por 3GPP indicó que en un ambiente de macro celda HSDPA con MIMO no parece traer ningún beneficio de capacidad sobre el caso con receptores de diversidad.

Adicionalmente elementos relevantes para la operación de HSDPA y HSUPA incluyen un trabajo de elementos sobre la reducción de retraso en el establecimiento de la llamada en la Conmutación de Circuitos (Circuit-Switched, CS) y en la Conmutación de Paquetes (Packet-Switched, PS), el cual está enfocado en el tiempo requerido para moverse desde el estado “desocupado” al estado “activo” (Cell\_DCH).

### 1.7. Más allá de HSDPA y HSUPA

Mientras la evolución de WCDMA continuó en 3GPP con otras ediciones, cosas totalmente nuevas habían iniciado. 3GPP había iniciado un estudio de factibilidad

en la Red de Acceso de Radio Terrestre UMTS (UMTS Terrestrial Radio Access Network, UTRAN), para asegurar la competitividad de la tecnología 3GPP. El trabajo fue comenzado con la definición de los siguientes objetivos:

- Latencia de la red de radio por debajo de 5 ms con 5 MHz o la mayor asignación del espectro. Con la más pequeña asignación del espectro, latencia menor de 10 ms.
- Reducción del control de latencia.
- Escalabilidad del ancho de banda hasta de 20 MHz.
- Picos de velocidad de transmisión de datos por enlace de bajada de hasta 100Mbps.
- Picos de velocidad de transmisión de datos por enlace de subida de hasta 50 Mbps.
- De dos a tres veces la capacidad de los escenarios de la Edición 6 existente con HSDPA y HSUPA.
- Mejora en la velocidad de transmisión de datos para el usuario final que se encuentra en la parte más lejana de la celda (bordes).
- Apoyo para el dominio PS.

Hay objetivos adicionales para reducir los costos del sistema para los operadores los cual están siendo tomadas dentro de la discusión de la arquitectura del sistema. Naturalmente, trabajar junto con WCDMA/HSDPA/HSUPA y GSM/GPRS/EDGE son parte del diseño del sistema, para prevenir degradación del servicio para el usuario final cuando este se mueve dentro del sistema, asegurando el movimiento de WCDMA o GSM cuando este se encuentre en el final del área de cobertura.

## 1.8. Referencias

[1] [www.3gpp.org](http://www.3gpp.org)

[2] 3GPP TS 25.855 High Speed Downlink Packet Access (HSDPA); Overall UTRAN description, Disponible en [www.3gpp.org](http://www.3gpp.org)

## **CAPÍTULO II**

# **“ARQUITECTURA Y PROTOCOLO HSPA”**

## 2.1. Introducción

Este capítulo cubre los impactos en la red radio y la arquitectura de los protocolos del Acceso a Paquetes a Alta Velocidad de Enlace de Bajada (HSDPA) y Acceso a Paquetes a Alta Velocidad de Enlace de Subida (HSUPA) al igual que la funcionalidad de los elementos de red y sus interfaces. También se cubren los aspectos del protocolo HSPA y como este ha cambiado del que se ha utilizado en la Edición 99 WCDMA, se hará mención de los canales lógicos y físicos para sentar una base que servirá como apoyo para la profundización de los mismo (canales y protocolo) a lo largo de los siguientes capítulos. Se verá los algoritmos para la RNC y el Nodo B tanto para HSDPA como para HSUPA. Al final de este capítulo se cubre el estado del Control de los Recursos de Radio (Radio Resource Control, RRC).

## 2.2. Arquitectura de la Administración de Recursos de Radio

La funcionalidad de la Administración de Recursos de Radio (Radio Resource Management, RRM) con HSDPA y HSUPA ha experimentado cambios comparado con la Edición 99. En la Edición 99 el esquema de control estaba puramente basado en la RNC mientras que en la estación base<sup>14</sup> (BTS o Nodo B en terminología 3GPP) se encontraba principalmente el poder de control relacionado a la funcionalidad. En la Edición 99 sí había dos RNC envueltas en una conexión, el control era distribuido. La RNC servidora (SRNC) (La RNC conectada en ese momento directamente al Núcleo de Red (Core Network, CN) para esa conexión) podía manejar el control para los canales dedicados (Dedicated Channels, DCHs) y la RNC conectada con la BTS podía manejar los canales comunes (por ejemplo el FACH). La distribución de RRM para la Edición 99 es mostrada en la Figura 2.1, y puede encontrarse información en la referencia [1].

---

<sup>14</sup> Es una pieza de equipo que facilita la comunicación inalámbrica entre el equipo de usuario (UE) y la red celular.

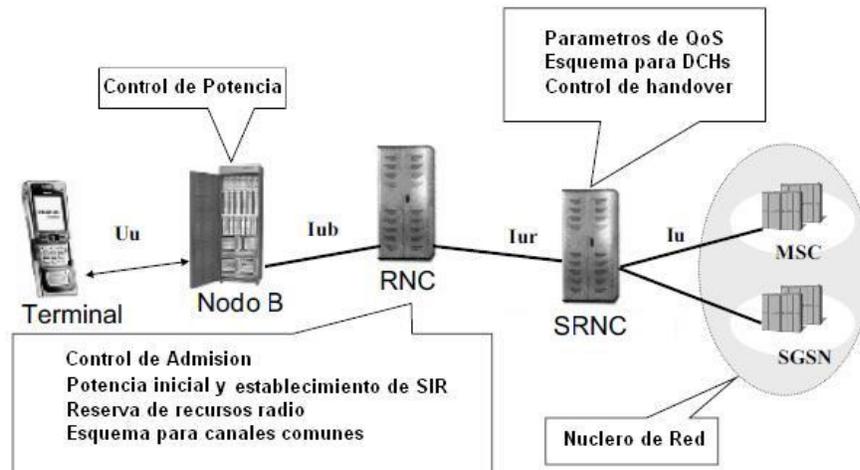


Figura 2.1 Arquitectura de Administración de Recursos Radio para Edición 99.

El programador de eventos ha sido movido a la BTS, hay un cambio completo en la arquitectura del RRM. La SRNC aun mantiene el control de handovers y es la que decidirá si se están cumpliendo los parámetro de calidad de servicio (Quality of service, QoS) que han sido establecidos. Con HSDPA la situación ha sido simplificada en el sentido que no hay soft handovers para datos HSDPA, por lo cual no es necesario transferir datos de usuario sobre múltiples interfaces Iub e Iur y, aunque HSDPA es soportado sobre Iur en las especificaciones, la utilización de la interface Iur puede ser completamente abolida por la reorganización de desempeño de la SRNC, cuando la celda servidora del Canal Compartido de Enlace de Bajada a Alta Velocidad (High-Speed Downlink Shared Channel, HS-DSCH) está bajo una RNC Controladora (RNCC) diferente. Con la Edición 99 esto no puede ser abolido para el área de cobertura límite de la RNC donde soft handover es usado entre dos BTSs bajo diferentes RNCs. De este modo, el escenario típico de HSDPA podría ser presentado solo mostrando una única RNC. Cabe recalcar que el DCH asociado puede aun estar en soft handover, aunque solo haya una celda servidora usada para HSPA. La arquitectura de RRM para HSDPA y HSUPA es mostrada en la Figura 2.2.

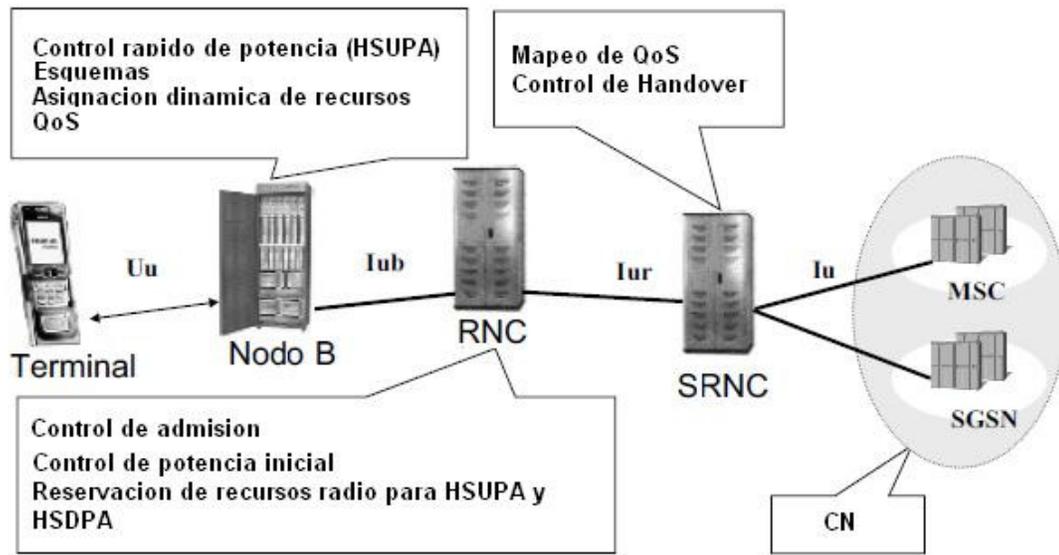


Figura 2.2 Arquitectura de RRM para HSUPA y HSDPA en Edición 6

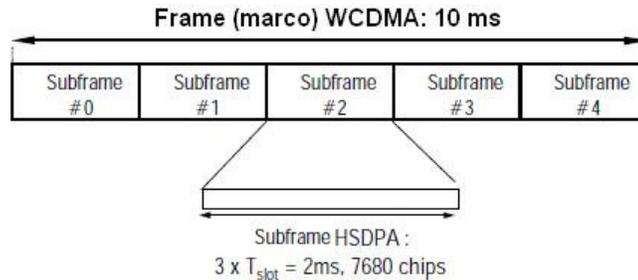
### 2.3. Implementación de HSPA

La implementación de HSPA no requiere el reemplazo total de los elementos que componen la infraestructura de red de la Edición 99(UMTS); sino, nada más de agregar nuevo software y hardware (tarjetas para el funcionamiento de los nuevos canales) a los elementos de red ya existentes tales como la estación base, la RNC y en el terminal. Además no requiere de espectro adicional para su despliegue. Como resultado de lo anterior las operadoras pueden implementar HSPA de manera rápida a bajo costo [4]. A lo largo del documento se irán listando los requerimientos necesarios para la implementación de HSPA en los diferentes nodos de red.

### 2.4. Eficiencia Espectral

Para entender las razones que motivan al despliegue de diferentes tecnologías de datos y para hacer una mejor predicción de las capacidades de evolución de las mismas, es sumamente útil examinar la eficiencia espectral. La evolución de los servicios de datos está caracterizada por el número de usuarios que pueden atenderse con alta demanda de ancho de banda, por tal motivo un incremento en la

eficiencia espectral se traslada a un incremento proporcional del número de usuarios [5].



### 2.3 Tamaño de Frame (marco) HSPA.

HSPA tiene cinco veces más capacidad de usuarios comparado con WCDMA. Dado que usa frames (marcos) de 2 ms de longitud, lo que es equivalente a 3 slots definidos para WCDMA. Hay 5 sub-frames por cada 10 ms del frame de WCDMA. Donde la longitud de cada slot es de 666.67  $\mu$ s. HSPA asigna recursos hasta a 5 usuarios más que WCDMA en un mismo intervalo de tiempo (10 ms) [5].

### 2.5. Arquitectura del Protocolo HSPA

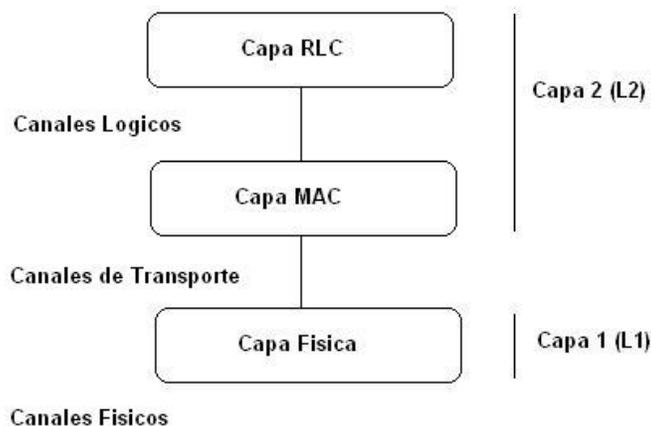


Figura 2.3 Visión Simplificada del Protocolo Edición 99.

La función básica de las diferentes capas del protocolo es válida con HSDPA y HSUPA y es similar a la Edición 99. El protocolo tiene un diseño de estructura de capas para brindar al sistema flexibilidad. Como es sabido el sistema UMTS está dividido en dos partes, las cuales son el Núcleo de Red (Core Network, CN) y la Red de Acceso Radio (Radio Access Network, RAN). La estructura básica del protocolo es mostrada en la Figura 2.3. A lo largo de este trabajo se irá profundizando en cada una de las capas que conforman el protocolo.

La capa física es la interface para medio físico: fibra óptica, enlace radio o cable de cobre. La capa física puede ser seleccionada de una variedad de estándares de tecnologías de transmisión tal como SONET, STM1 o E1.

Las funciones principales de la capa física son:

- Detección de error.
- Multiplexacion/Demultiplexacion.
- Sincronizacion.
- Medidas de tasa de bit de error, potencia de transmisión.
- Handover.

Los canales de transporte contienen los datos generados por las capas de los niveles superiores, los cuales son portados sobre la interface y son mapeados en la capa física sobre diferentes canales físicos, los datos son enviados por el bloque de transporte desde la capa MAC hacia la capa física y son generados por la capa MAC, en los cuales son detallados en el desarrollo del presente documento.

Los diferentes canales de transporte y sus correspondientes canales físicos son mostrados en la Tabla 2.1, los canales lógicos son mostrados en la Tabla 2.2. La función específica de cada uno de los canales dentro del protocolo HSPA será descrita a lo largo del presente trabajo.

Tabla 2.1. Canales de Transporte y sus Correspondientes Canales Físicos.

Canal de Transporte	Canal Físico
(UL/DL) Canal Dedicado DCH	Canal de Datos Físico Dedicado <b>DPDCH</b> Canal de Control Físico Dedicado <b>DPCCH</b>
(UL) Canal de Acceso Aleatorio RACH	Canal de Acceso Aleatorio Físico <b>PRACH</b>
(UL) Canal de Paquete Común CPCH	Canal de Paquete Común Físico <b>PCPCH</b>
(DL) Canal de Broadcast BCH	Canal Físico de Control Común Primario <b>P-CCPCH</b>
(DL) Canal de Acceso Remitido FACH	Canal Físico de Control Común Secundario <b>S-CCPCH</b>
(DL) Canal de Registro PCH	Canal de Sincronía <b>SCH</b>
Canales Físicos para Señalización	Canal Piloto Común <b>CPICH</b>
	Canal de Indicación de Adquisición <b>AICH</b>
	Canal de Indicación de Registro <b>PICH</b>
	Canal Indicador del Estatus CPCH <b>CGICH</b>
	Canal Indicador de Detección de Colisión <b>CD-ICH</b>

Tabla 2.2 Canales Lógicos.

<b>Canales Lógicos</b>	<b>Canal de Control Dedicado, DCCH</b>
	Canal de Control Común, <b>CCCH</b>
	Canal de Control Físico, <b>PCCH</b>
	Canal de Control de Broadcast, <b>BCCH</b>
	Canal de Trafico Dedicado, <b>DTCH</b>

### 2.5.1. Arquitectura del Protocolo de Plano de Usuario en HSPA

La arquitectura del protocolo puede ser definida de la siguiente manera: plano de usuario, manejo de datos de usuario, y parte de plano de control. La capa RRC (Radio Resource Control) en la parte del plano de control maneja toda la señalización relacionada con la configuración de los canales, administración de movilidad, etc. Todo esto es oculto para el usuario final, La arquitectura completa del protocolo es mostrada en la Figura 2.4.

El Protocolo de Convergencia de Paquete de Datos (Packet Data Convergence Protocol, PDCP) tiene como función principal la compresión de encabezado el cual no es relevante para los servicios de conmutación de circuitos. La importancia de la compresión de encabezado es fácil de entender desde el encabezado no comprimido del Protocolo de Internet (IP) el cual puede ser de dos a tres veces el tamaño de la carga efectiva de información del paquete de voz.

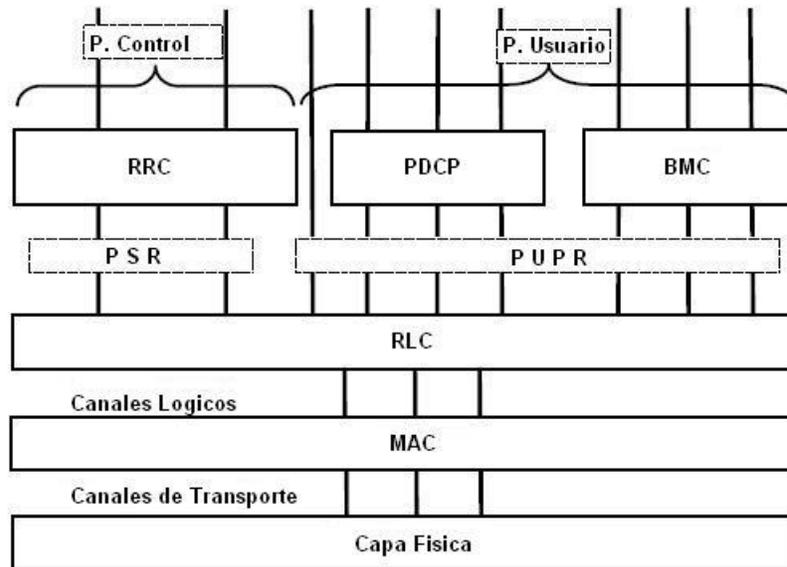


Figura 2.4 Arquitectura del Protocolo de Interface Radio en Edición 99.

El manejo de la segmentación y la transmisión es manejado por el Control de Enlace Radio (Radio Link Control, RLC) para ambos, datos del usuario y los datos de control. RLC puede ser operado en tres diferentes modos:

- Modo Transparente (Transparent Mode, TM), cuando ningún exceso de cabeceras (overhead) es agregado debido a la capa RLC, tal como con Multi Tasa Adaptativa (Adaptative Multi Rate, AMR)<sup>15</sup>, y no es aplicable cuando los canales de transporte de HSDPA y HSUPA son usados.
- Modo Sin Reconocimiento (Unacknowledged Mode, UM), cuando en la transmisión no toma lugar la capa RLC. Este es usado con aplicaciones que pueden tolerar alguna pérdida de paquetes, como es el caso de VoIP, y no puede permitir retraso en los niveles de retransmisión para RLC.

<sup>15</sup> Códec usado en telefonía para la transmisión de voz.

- Operación en modo Reconocido (Acknowledged Mode, AM), cuando la entrega de los datos es asegurada con la capa de retransmisión RLC, este es utilizado con aplicaciones que requieren que todos los paquetes sean entregados.

La capa de Control de Acceso al Medio (Control Access Control, MAC) en la Edición 99 se enfoca en el mapeo entre los canales lógicos y el manejo de prioridades, al igual que la selección de velocidades de transmisión siendo usadas, por ejemplo la Selección del Formato de Transporte (Transport Format, TF)<sup>16</sup> que está siendo aplicado. Los canales de transporte conmutados son también parte de la funcionalidad de la capa MAC.

HSDPA y HSUPA introducen nuevos elementos en la arquitectura de la capa MAC. Las funcionalidades de la capa MAC para HSDPA y HSUPA pueden trabajar independientemente de la operación DCH (Dedicated Channel) de la Edición 99, pero toman en cuenta las limitaciones de los recursos de la interface aire. La Figura 2.5 muestra la arquitectura completa de la interface radio para datos de usuario en HSDPA y HSUPA, vislumbrando las nuevas entidades del protocolo sintonizado con los datos de usuario.

---

<sup>16</sup> Es definido como una combinación de atributos entre los cuales se incluyen: protección de error, temporizadores, tasa de bit y mapeo dentro de los canales físicos.

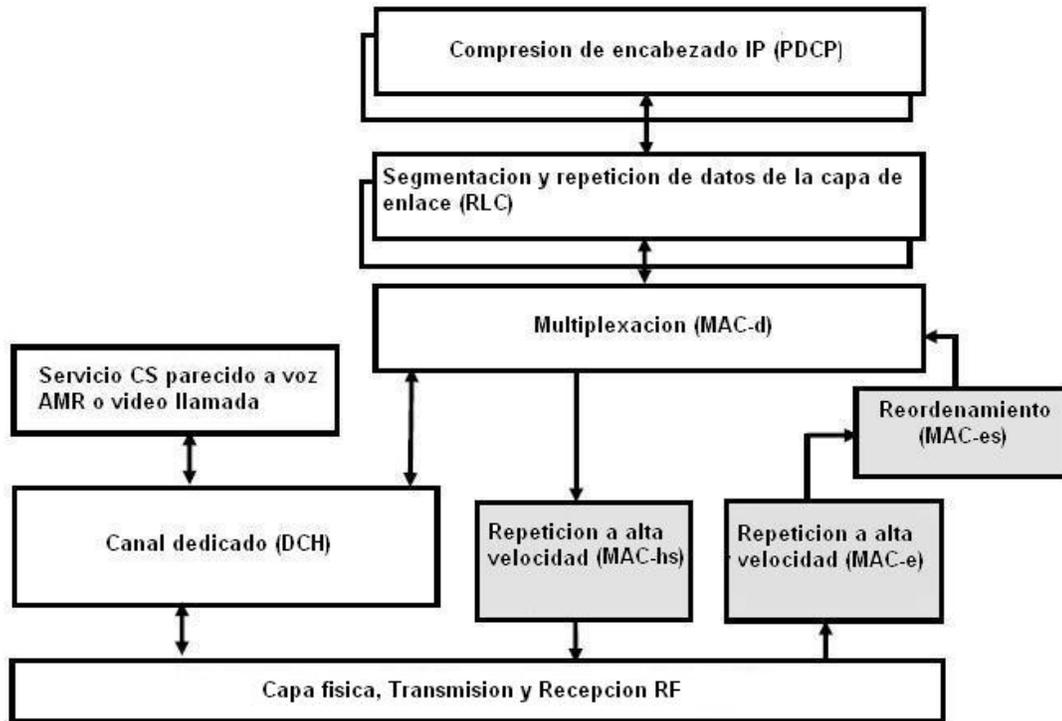


Figura 2.5 Arquitectura de la interfaz radio HSDPA y HSUPA para datos de usuario

La BTS basada en programación de funcionalidad es parte de la capa MAC, y de este modo hay ahora una nueva entidad en el protocolo, MAC-hs (hs es por alta velocidad “high speed”), en la BTS. Esto es mostrado como parte de la arquitectura del protocolo para el plano de usuario visto en la Figura 2.6, la cual cubre un aspecto agregado de forma específica para HSDPA y su localización en los elementos de red. La RNC conserva la MAC-d (d por dedicado, “dedicated”), el programador de eventos y el manejo de prioridades, fueron movidos para la MAC-hs. Cabe mencionar que la capa que está sobre la capa MAC (nombrada capa RLC) se mantiene sin cambios, pero algunas optimizaciones para los servicios en Tiempo Real (Real Time, RT) tales como VoIP fueron introducidos para el modo UM RLC en la Edición 6, para HSDPA se introdujo retransmisiones de capa física, la capa RLC manipula las retransmisiones de capa física que se encuentran en operación fallida o, especialmente, en conexiones con diferentes eventos de

movilidad como ocurre en el cambio de la celda servidora HS-DSCH. Esto es asumiendo el modo de operación AM RLC. En el caso de UM RLC, la retransmisión física es la única solución disponible. Un ejemplo sería una llamada VoIP donde la retransmisión de la capa RLC desde la RNC sería demasiado lenta.

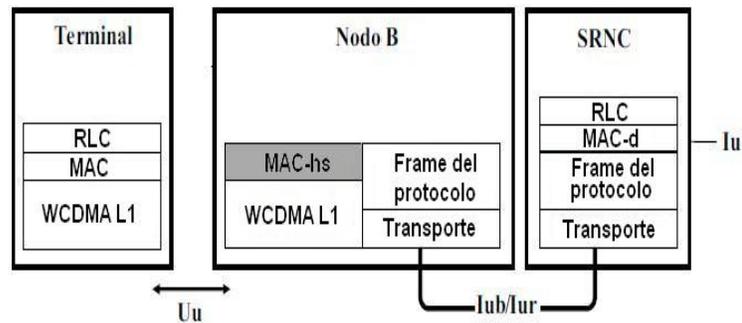


Figura 2.6. Arquitectura del plano de usuario HSDPA

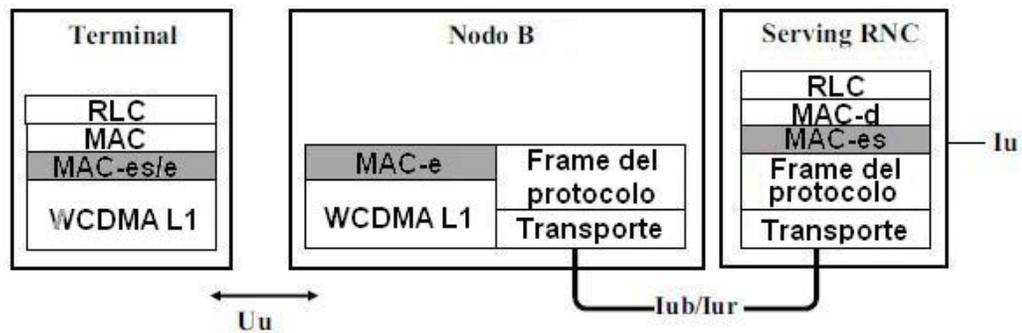


Figura 2.7. Arquitectura del plano de usuario HSUPA

Con HSUPA se ha agregado de igual manera una nueva entidad MAC para la BTS, como se muestra en la Figura 2.7. El terminal tiene una nueva entidad MAC (MAC-es/e), para cubrir el hecho que parte del esquema de la funcionalidad fue movido al Nodo B, aunque este es basado en el control de información desde la RNC y en un requerimiento de capacidad directo desde el equipo de usuario (User equipment, UE) hacia el Nodo B. Del mismo modo hay una nueva entidad para la RNC. Esto es dado para el soft handover HSUPA y el hecho que la retransmisión

de capa física introducida en HSUPA tiene el efecto de sacar de orden los paquetes. Cuando los datos son recibidos en muchas BTSs, hay posibilidad que cuando se está operando en la región de soft handover los paquetes lleguen desde diferentes BTSs de tal forma que el orden de los paquetes no es retenido, y para permitir el re-ordenamiento para formar un solo paquete la funcionalidad de re-agrupamiento necesita ser combinada con macro diversidad en la MAC-es (en la RNC). De este modo, la funcionalidad de la nueva MAC-es “en secuencia de entrega” tienen como principal tarea asegurar a las capas superiores que los paquetes serán entregados en el orden que estos fueron transmitidos desde el terminal. En caso que los pedidos sean manejados en la BTS, un retraso innecesario podría ser producido dado que la BTS tendría que esperar por los paquetes perdidos hasta que pudiera determinar que han sido recibidos correctamente por otra BTS. Detalles de la arquitectura de la capa MAC pueden ser encontrados en la referencia [2].

De manera parecida a HSDPA, la capa RLC en HSUPA es envuelta con la retransmisión de paquetes sí la capa física falla en la entrega correcta de ellos después de que el número máximo de retransmisiones ha sido excedido.

## **2.6. Impacto de HSDPA y HSUPA en la Interface UTRAN**

Mientras los impactos de HSDPA y HSUPA en términos de velocidad de transmisión de datos sobre la interface aire son bien conocidos y a menudo el foco de la discusión, el impacto en la operación de las otras interfaces requiere también atención. Para la interface entre las BTSs y la RNC, la interface Iub, hay ahora una alta expectación por las velocidades de transmisión de datos que con los terminales<sup>17</sup> de la Edición 99 se alcanzan.

---

<sup>17</sup> Término utilizado en telecomunicaciones para denotar el equipo móvil de usuario.

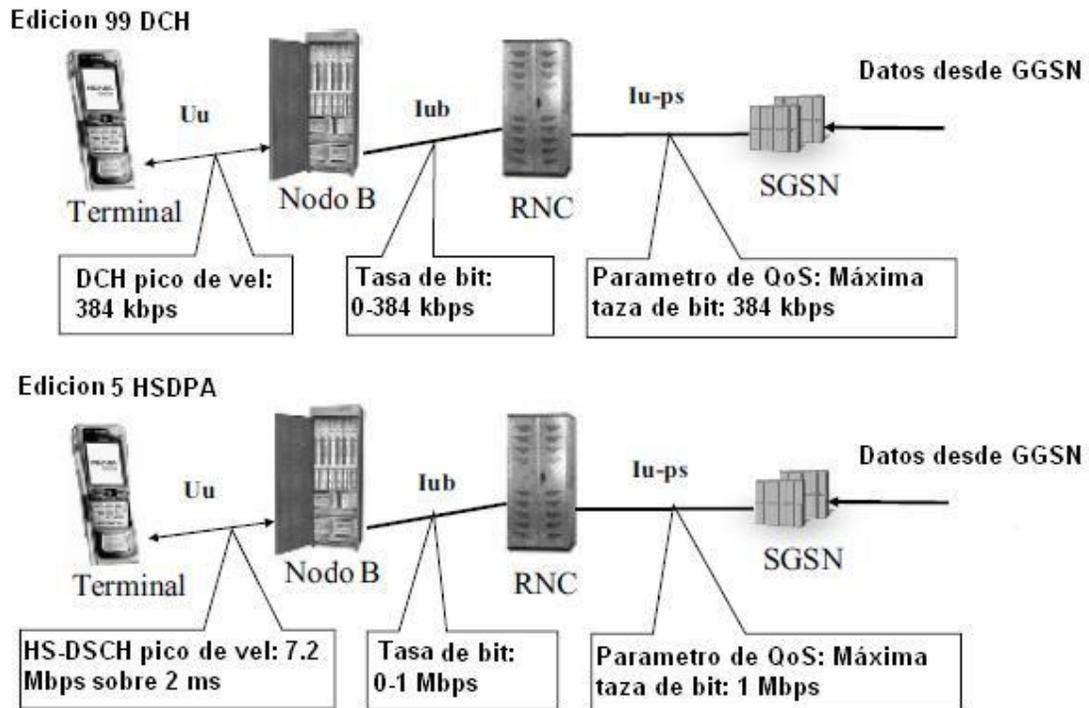


Figura 2.8 Ejemplo de velocidad de transmisión de datos para HSDPA y Edición 99 en las diferentes interfaces.

Mientras en la Edición 99 para los terminales la tasa de transferencia de datos en las diferentes interfaces no alcanza más de 384 kbps, incluyendo la interface Iu-ps desde la RAN hacia el SGSN, es igual para el usado por la interface radio (Uu). Sin embargo con HSDPA la situación ha cambiado. Sobre la interface aire, denotada como Uu en terminología 3GPP, pueden ser alcanzadas velocidades de transmisión de datos hasta de 14.4 Mbps sobre pequeños periodos (2 ms). Esto sin embargo, no significa que la misma velocidad de transferencia de datos está siendo usada en la interface Iub e Iu-ps para un usuario en particular. Desde el punto de vista del usuario, los recursos radio son en tiempo y código compartidos por todos usuarios en la misma celda. De este modo, la velocidad de transferencia promedio para un usuario en una celda con muchos usuarios es claramente baja. Por otro lado, el pico de velocidad de transferencia de 10 Mbps requiere condiciones de

radio extremadamente favorable y esto es completamente diferente a lo que todos los usuarios en la celda podrían llegar a obtener altas velocidades. Así, el tráfico promedio en la interface lub es también menos que el pico de velocidad de transferencia para la parte radio. Un ejemplo es mostrado en la Figura 2.8, la cual muestra una comparación de la Edición 99 a 384-Kbps de enlace de bajada y HSDPA para el caso de 7.2-Mbps. Los 384-Kbps de enlace de bajada tendrán igual velocidad de transmisión de datos reservado para todas las interfaces y no excederá el límite de 384-Kbps. Con HSDPA los picos en la interface radio para la transferencia de datos soportados por el terminal en el ejemplo es de 7.2 Mbps. El servicio de transferencia de datos sobre la interface lu-ps e lub podría ser limitado, por ejemplo, a 1Mbps. El uso de buffers en la BTS hacen posible tener un pico de transferencia de datos para la conexión tan alto como el terminal lo requiera y la BTS pueda soportar, mientras resguarda la máxima transferencia de datos sobre la interface lub e lu-ps en línea con los parámetros de QoS recibidos desde el Núcleo de Red.

Los buffers en la BTS junto con un programador de eventos que permite compartir los recursos en el tiempo, facultan alcanzar un mayor pico de tasa de velocidad de transmisión (sobre cortos periodos de tiempo) más alto para la interface radio que para la velocidad de transferencia promedio en las interfaces lub/lu-ps. Teniendo buffers para la transmisión en la BTS se requiere aplicar un control de flujo para abolir el sobre flujo en los buffers. En este sentido el usuario bajo mejores condiciones de radio puede conseguir más de los recursos lub. El principio de operación del control de flujo es mostrado en la Figura 2.9.

Un usuario bajo buenas condiciones de radio conseguirá más asignación (créditos) lub dado que los datos se mueven rápido desde el punto de vista radio. Por otro lado, cuando los buffers comienzan a estar completos (llenos) debido a las pobres condiciones de radio (resultando en baja velocidad de transmisión de datos)

el flujo de control propiciará lentitud en la transferencia de datos de bajada para ese tipo de usuario, como muestra la Figura 2.9.

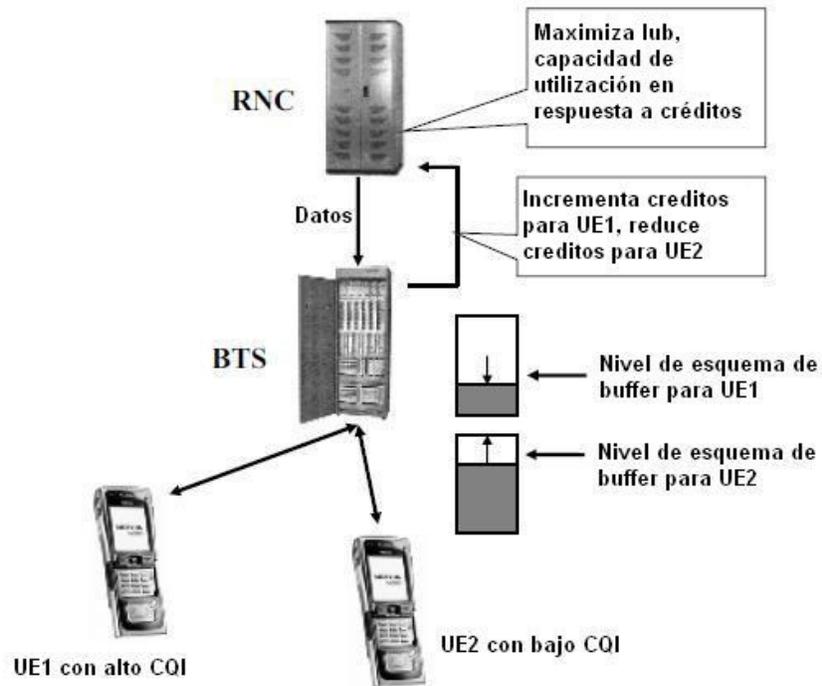


Figura 2.9 HSDPA Control de flujo en la interfaz lu.

Para los elementos de red y el terminal mismo, el uso de HSDPA y HSUPA causará muchos cambios, especialmente en la capa física al igual que en las capas MAC y RLC. Desde el punto de vista de la RNC hay un impacto el cual es dado no solo para el ya mencionado flujo de control, sino también, cambios en RRM. Eventos de movilidad causan algunos cambios adicionales para compartir oportunamente los recursos lub dinámicamente entre todos los usuarios. Debido al incremento de las velocidades de transmisión desde el máximo práctico de 384 Kbps en la Edición 99 de dispositivos hasta 10 Mbps y, teóricamente, hasta 14 Mbps con HSDPA.

Para la BTS y el terminal, la clave de los cambios con HSDPA está relacionada con la adición de funcionalidades al programador de eventos y retransmisión para la BTS, respectivamente la necesidad de funcionalidad de combinación de paquetes para el terminal. Canales adicionales son entonces necesitados para la retransmisión de datos, incluyendo una nueva modulación y esto es igual para propósitos de señalización, posibilitando así facilitar la nueva funcionalidad. La clave de las nuevas funcionalidades dadas para HSDPA son mostradas en la Figura 2.10.

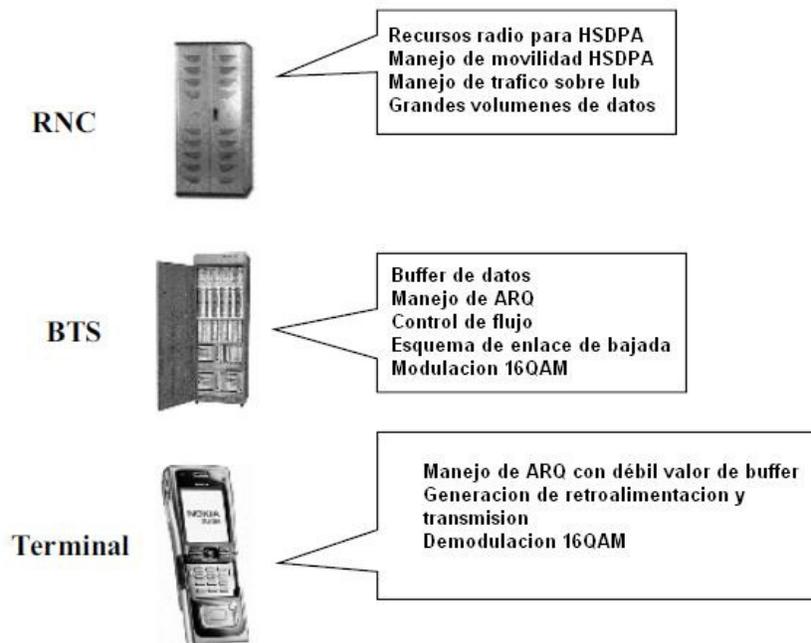


Figura 2.10 Nueva funcionalidad en diferentes elementos dados para HSDPA.

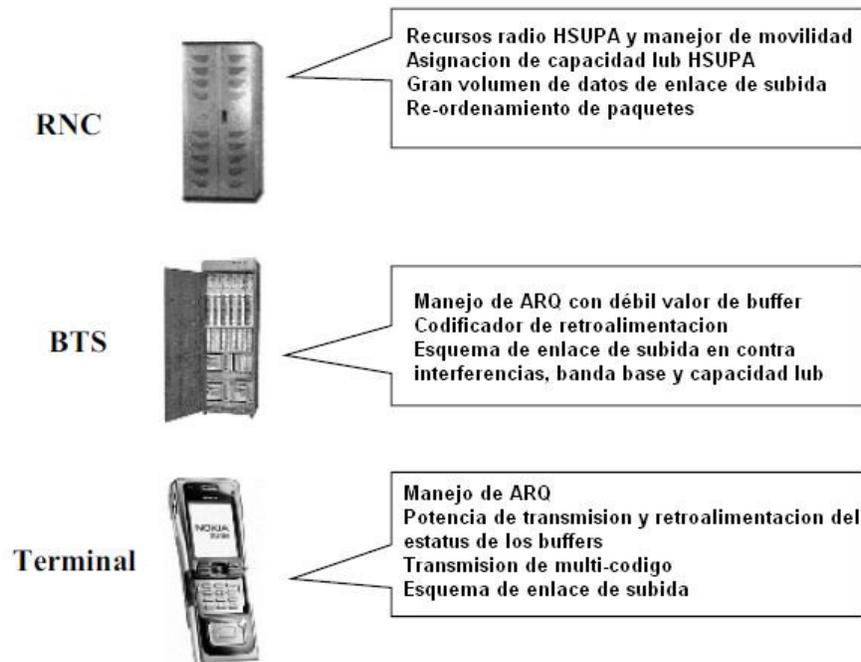


Figura 2.11 Nueva funcionalidad en diferentes elementos dado para HSUPA

De igual manera con HSUPA nuevas funcionalidades en los elementos de red son necesarias, tal como muestra la Figura 2.11. Aquí el programador de eventos es controlado por la BTS y hay necesidad de control para el flujo de datos en el otro sentido (en la dirección de enlace de subida) al igual que nuevos canales de señalización para HSUPA. La funcionalidad de combinación está ahora en la estación base y la nueva funcionalidad de re-ordenamiento es agregada en la RNC. Un esquema de enlace de subida adicional es requerido además del de enlace de bajada para HSDPA.

El terminal está habilitado para el correcto funcionamiento bajo el concepto de transmisión de multi-código, como fue el caso en la Edición 99.

## 2.7. Estado del Protocolo con HSPA

El estado de RRC como puede encontrarse en las referencias [1] y [2], es lo mismo con HSPA que en la Edición 99. El “Cell\_DCH” es el estado usado cuando esta activa la transmisión de datos para y desde el terminal en el DCH o en el HSPA. Desde el estado Cell\_DCH el terminal será movido para Cell\_FACH<sup>18</sup> o a otro estado, ya sea directamente desde el estado Cell\_DCH o vía el estado Cell\_FACH sí no hay datos en los buffers. Esto pasa dependiendo de los tiempos configurados en la red después de algunos segundos. Hay necesidad de un equilibrio en los tiempos de reacción de la red para los primeros instantes de transmisión de paquetes después de un periodo en modo pasivo. La transmisión toma tiempo dado al proceso de reconfiguración/establecimiento. Guardar reserva de recursos HSPA para el usuario, aun cuando no hay datos a transferir no es eficiente para la capacidad del sistema o desde el punto de vista de los recursos de la BTS. La batería del terminal podría también verse afectada, permaneciendo el terminal en estado activo sin ningún dato pasando a través de él causando desgaste de la batería.

Los datos pueden ser transmitidos sobre CELL\_FACH, pero solo usando el Canal de Acceso de Reenvío (Forward Access Channel, FACH) para el enlace de bajada y el Canal de Acceso Aleatorio (Random Access Channel, RACH) para el enlace de subida, lo cual significa velocidad limitada de transferencia de datos dado que estos canales no ofrecen ninguna de las mejoras en el desempeño de HSPA. Un terminal en estado CELL\_FACH continuamente decodifica canales FACH e inicia la repuesta de enlace de bajada de datos (o inicia la transmisión de datos en los buffers de enlace de subida) en la RACH. Dependiendo del volumen de datos, el terminal puede ser movido de regreso al estado CELL\_DCH.

---

<sup>18</sup> Estado en el cual el UE puede acceder al Canal Común de Acceso de Reenvío (Forward Access Common Channel, FACH ).

Sí el periodo en estado desocupado (idle) en la transmisión de datos continua por mucho tiempo, esto conlleva a que el terminal se mueva hacia el estado CELL\_PCH o URA\_PCH. Esos estados son los más eficientes desde el punto de vista de la conservación de la batería del terminal. Naturalmente, el uso de ciclo discontinuo de recepción (DRX) con la operación de “registro” (Paging) causará algunos desfases adicionales para reanudar la transmisión de datos cuando el terminal necesite ser registrado. Esto pasa ya sea en una celda (situación conocida como nivel de celda en estado Cell\_PCH) o en el área de nivel de registro (estado URA\_PCH). Esto es el beneficio del estado URA\_PCH para terminales con alta movilidad. Terminales moviéndose rápidamente en una red densa podrían necesitar muchas actualizaciones de celda, incrementando la carga RACH, pero podrían entonces necesitar ser registrados en múltiples celdas en caso que la actividad haya sido originada por el enlace de bajada. El estado RRC es mostrado en la Figura 2.12.

En modo desocupado no hay especificaciones para HSPA, la operación vuelve a usar el DCH. Las especificaciones de la Edición 6 indican la posición en la transmisión de información en la cual la red informará sí hay HSPA disponible, pero esto es solo para información de usuario y no para influenciar la red existente y el comportamiento de la selección de celda. Obviamente, la razón de RRM dictará sí un usuario conseguirá asignación de HSPA o no. De modo similar a GPRS, es desconocido antes del establecimiento de la conexión cuantos slots<sup>19</sup> están disponibles.

---

<sup>19</sup> Término utilizado en Telecomunicaciones para denotar un intervalo de tiempo y espacio.

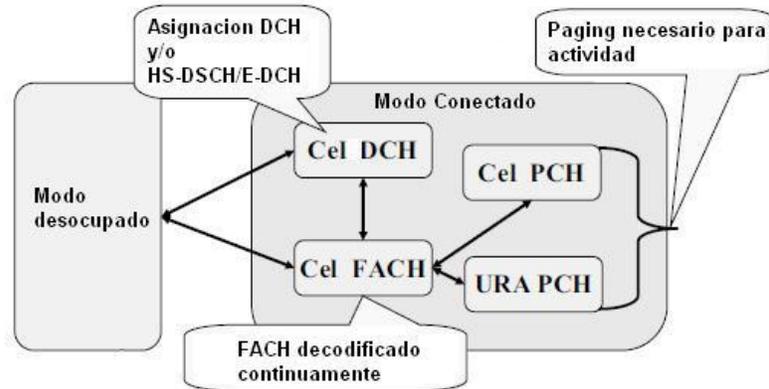


Figura 2.12 Estado RRC con HSDPA/HSUPA

## 2.8. Gestión de los Recursos Radio

Los algoritmos para la gestión de los recursos radio (RRM) son responsables por el mapeo de las mejoras introducidas en la capa física por HSPA para una capacidad de ganancia mientras provee desempeño atractivo para el usuario final y estabilidad en el sistema.

### 2.8.1. Gestión de los Recursos Radio para HSDPA

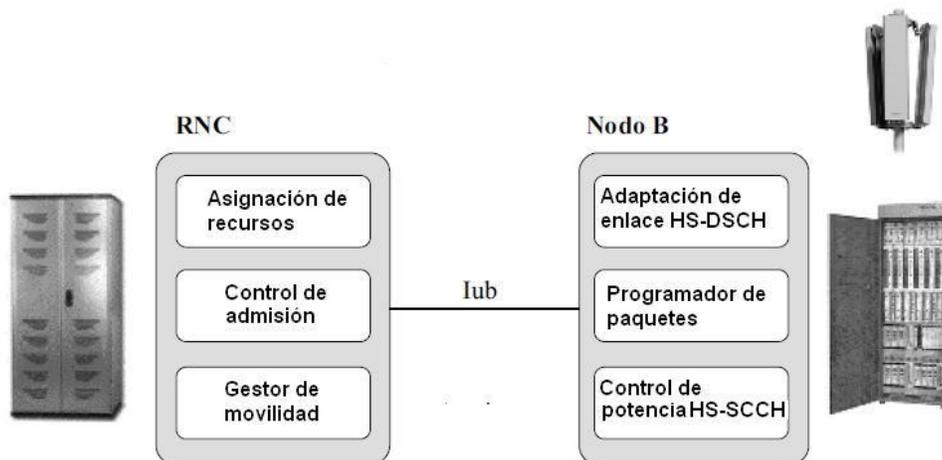


Figura 2.13 Visión de algoritmos relevantes HSDPA RRM.

La Figura 2.13 muestra una visión esquemática de los algoritmos RRM HSDPA esenciales en la RNC y en el Nodo B. En la RNC, los nuevos algoritmos HSDPA incluyen asignación de recursos HSDPA, control de admisión y gestión de movilidad. En este contexto, la asignación de recursos HSDPA se refiere a la funcionalidad de asignación de potencia y códigos de canalización hacia el Nodo B para la transmisión HSDPA en cada celda. El control de admisión HSDPA es diferente al algoritmo de control de admisión del Canal Dedicado (Dedicated channel, DCH) de la Edición 99, dado que HSDPA depende del concepto de canal compartido. El gestor de movilidad para HSDPA es también una nueva funcionalidad, los datos son solo transmitidos desde una celda hacia el equipo de usuario en un tiempo determinado, y el manejo efectivo de buffer del Nodo B es necesario durante el proceso de handovers dado la distribución de la arquitectura. En el Nodo B, es necesaria una nueva funcionalidad de adaptación del enlace del Canal Compartido de Enlace de Bajada a Alta Velocidad (High-Speed Downlink Shared Channel, HS-DSCH) para ajustar la tasa de bit HS-DSCH a cada Intervalo de Tiempo de Transmisión (Transmission Time Interval, TTI), dependiendo de la calidad de recepción del usuario. Es necesario el control de potencia del Canal de Control Compartido a Alta Velocidad (High Speed Shared Control Channel, HS-SCCH) para minimizar la potencia de sobre encabezado mientras garantiza la recepción confiable. Finalmente, el Control de Acceso al Medio a Alta Velocidad (MAC-hs) basado en un programador de paquetes en el Nodo B el cual controla la frecuencia con la que usuarios HSDPA admitidos son servidos en el HS-DSCH. Un buen diseño de programador de paquetes MAC-hs está apto para maximizar la capacidad de la celda mientras garantiza una buena experiencia para el usuario final. Es de notar que la 3GPP solo define las interfaces y los requerimientos de desempeño mínimo para la UE. De este modo, fabricantes de equipos de red pueden individualmente diseñar sus propios algoritmos RRM tanto para el Nodo B como para la RNC de acuerdo a las demandas del mercado.

## 2.8.1.1. Algoritmos en la RNC

### 2.8.1.1.1. Asignación de Recursos

Antes que el Nodo B pueda comenzar a transmitir datos sobre el HS-DSCH, la RNC controladora necesita asignar códigos de canalización y potencia para la transmisión de HSDPA. Como mínimo, un código HS-SCCH con un factor de dispersión (Spreading Factor, SF) de 128 y un código de Canal Compartido de Enlace de Bajada Físico a Alta Velocidad (High-Speed Physical Downlink Shared CHannel, HS-PDSCH) con SF16 debe de ser asignado al Nodo B. La señalización entre la RNC y el Nodo B es llamada Parte de Aplicación de Nodo B (Node B Application Part, NBAP) protocolo especificado por la 3GPP. Los recursos son asignados por el envío de un mensaje "NBAP:Physical shared channel reconfiguration request" desde la RNC controladora hacia el Nodo B (como se muestra en la Figura 2.14). Por lo tanto, la asignación de códigos de canalización para la transmisión HSDPA solo requiere señalización entre la RNC y el Nodo B. En general, es de beneficio la asignación de tantos códigos HS-PDSCH para el Nodo B como sea posible, la eficiencia espectral del HS-DSCH es de este modo mejorada. Por otro lado, códigos de canalización reservados para transmisión HS-PDSCH no pueden ser simultáneamente usados para la transmisión de canales de la Edición 99, asignación de muchos códigos HS-PDSCH podría eventualmente resultar en el bloqueo de usuarios de la Edición 99. Afortunadamente si congestión de código de canalización es detectada, la RNC controladora puede rápidamente liberar alguno de los canales de códigos HS-PDSCH asignados para prevenir el bloqueo de conexiones de voz o video de la Edición 99.

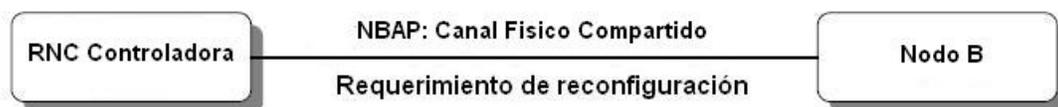


Figura 2.14 Señalización para asignación de recursos HSDPA.

La transmisión de HS-DSCH para múltiples usuarios en paralelo durante un único TTI requiere múltiples códigos HS-SCCH y múltiples códigos HS-PDSCH. La multiplexación de código es generalmente encontrado útil para escenarios donde un Nodo B tiene más códigos HS-PDSCH asignados de los que puede soportar para móviles HSDPA; el Nodo B puede soportar de 10-15 códigos HS-PDSCH mientras que el terminal HSDPA soporta solo 5 códigos HS-PDSCH. El algoritmo para la asignación de códigos HS-SCCH hacia el Nodo B puede por lo tanto ser entregado como una función de los códigos HS-PDSCH asignados y las categorías de la UE HSDPA en la celda.

El recurso más escaso para la transmisión de enlace de bajada es la potencia. La Figura 2.15 muestra la potencia disponible de enlace de bajada para una celda con transmisión tanto de canales HSDPA como de canales de la Edición 99. La potencia disponible consiste de la potencia necesaria para los canales comunes tal como el (Canal Piloto Común Primario, P-CPICH), potencia para transmisión de DCH de la Edición 99, y potencia para la transmisión de HSDPA. La potencia en tiempo real para los DCHs es manejada por el control de admisión en la RNC, mientras que la potencia que no es en tiempo real para los DCHs es controlada por el programador de paquetes en la RNC. La potencia para DCH que no es en tiempo real está caracterizada como potencia controlable dado que puede ser ajustada por modificaciones de la tasa de bit, mientras la potencia para canales comunes y DCH en tiempo real es considerada para no ser controlable. Un ejemplo de caso de asignación de potencia es mostrado en la Figura 2.15. Asumiendo una potencia base RRM, el algoritmo RNC RRM apunta a proteger la potencia total para todos los canales de la Edición 99 debajo de  $P_{txTarget}$  como está definido en la referencia [2]. Para permitir la implementación de tal esquema con HSDPA, el Nodo B puede ser configurado para reportar medidas promedio de potencia no HSDPA por portadora (como se ilustra en la Figura 2.15). Basado en estas medidas, la RNC está apta para conducir el control de admisión y el programador de paquetes hacia canales de la Edición 99 en celdas con transmisión simultánea HSDPA.

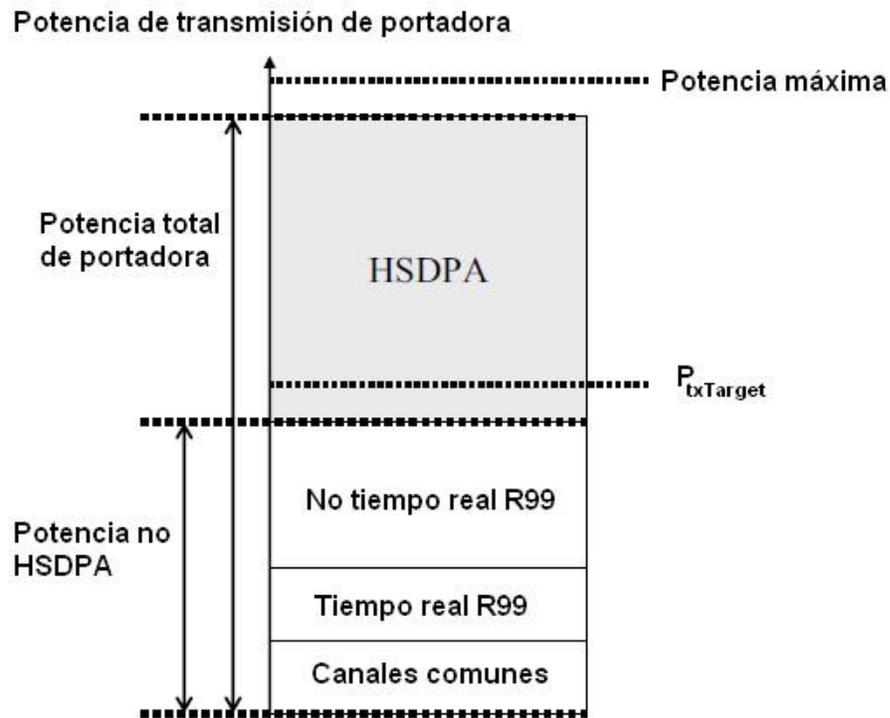


Figura 2.15 Distribución de potencia en enlace de bajada.

Hay dos opciones principales para la asignación de potencia de transmisión HSDPA para cada celda en el Nodo B:

- Opción 1, la RNC controladora asigna un monto fijo de potencia de transmisión HSDPA por celda. El Nodo B puede después usar esa misma potencia para la transmisión de HS-DCCHs y HS-PDSCHs. La RNC controladora puede volver a la asignación de potencia HSDPA en cualquier momento después.
- Opción 2, si la RNC controladora no asigna explícitamente la potencia de transmisión HSDPA al Nodo B, el Nodo B puede usar la potencia que no esté siendo usada en la celda para transmisión HSDPA. Esto significa que el Nodo B puede ajustar la potencia de transmisión HSDPA, lo que es igual a la potencia transmitida menos la potencia usada por los canales que no son HSDPA.

El comportamiento de la Opción 1 y la Opción 2 son mostrados en la Figura 2.16. Se debe de notar que la potencia HSDPA no es variante en el tiempo dado por (i) el control rápido de potencia de DCHs, (ii) nuevas llamadas DCH entrantes en tiempo real en la celda, (iii) terminación de llamadas DCH, y (iv) modificaciones en tasa de bit de las llamadas de paquetes en el DCH. Usando la Opción 2, la portadora disponible para la potencia de transmisión puede ser mejor utilizada, dado que el Nodo B puede rápidamente ajustar la potencia de transmisión HSDPA basando las medidas en pequeños intervalos de tiempo de potencia usada por todos los canales que no son HSDPA. La Opción 2 es por lo tanto considerada más atractiva que la opción 1. Esto es especialmente cierto en escenarios de cobertura limitada donde un incremento en la potencia de transmisión de portadora total refleja directamente un incremento en la capacidad de celda. Sin embargo, en escenarios de capacidad limitada donde la capacidad de la celda no obtiene ganancia del incremento de potencia de transmisión del Nodo B para todas las celdas en la red, la opción 1 sería mejor.

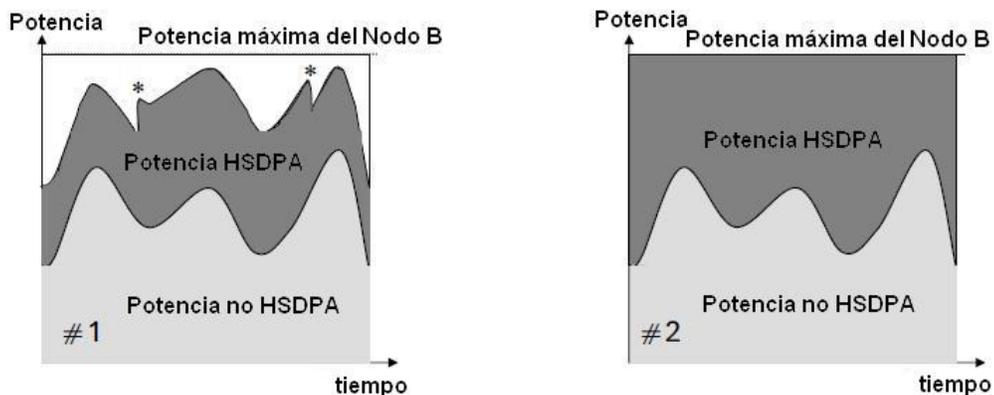


Figura 2.16 Principio de asignación de potencia HSDPA. Transmisión de portadora:

Opción 1 es explícita la asignación de potencia HSDPA desde la RNC, mientras opción 2 es Nodo B basado en asignación de potencia a alta velocidad. \* Ajuste de potencia por la RNC.

Sin tomar en cuenta si la Opción 1 o la Opción 2 es usada para la asignación de potencia HSDPA, la RNC está aun en control de la potencia total compartida entre HSDPA y otros canales. Si la RNC permite un incremento de potencia en los canales que no son HSDPA, por ejemplo incrementando el PtxTarget, entonces menos potencia estará disponible para la transmisión HSDPA. La solución por lo tanto debe de ser manejada por un algoritmo dinámico en la RNC que pueda ajustar la potencia compartida entre los canales HSDPA y los que no son HSDPA basado en atributos de calidad de servicio (QoS) para las llamadas en progreso en estos dos tipos de canales.

#### **2.8.1.1.2. Parametrización de QoS**

QoS para la Edición 99 DCHs fue manejada como una función de la Clase de Tráfico de usuario (Traffic Class, TC), Prioridad de Gestión de Tráfico (Traffic Handling Priority, THP), Asignación de Retención de Prioridad (Allocation Retention Priority, ARP), y potencialmente también otros atributos de portadora UMTS. Estos parámetros de QoS de la interface lu no están disponibles en el Nodo B para el programador de paquetes MAC-hs. Nuevos parámetros de QoS han sido definidos para la interface lub entre la RNC y el Nodo B. Los parámetros de QoS HSDPA en la lub son:

- Tasa de Bit Garantizada (Guaranteed Bit Rate, GBT);
- Indicador de Prioridad de Programador (Scheduling Priority Indicator, SPI);
- Tiempo de Descartado (Discard Time, DT).

La Figura 2.17 muestra los parámetros de QoS 3GPP y sus interfaces. 3GPP no define los parámetros de cómo debe de ser diseñado el mapeo en la RNC, ni como los parámetros de calidad son usados por el programador de paquetes MAC-hs.

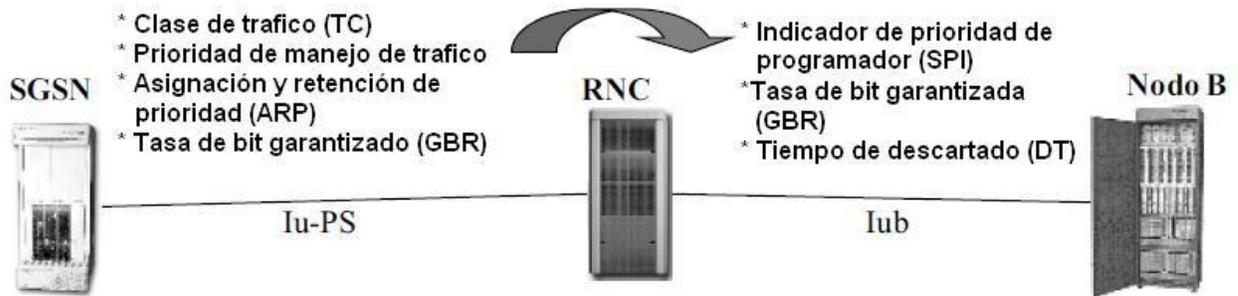


Figura 2.17 Parámetros de QoS 3GPP en las interfaces Iu-PS e Iub.

El Indicador de Prioridad de Programador (SPI) toma valores en el rango de  $[0,1,\dots,15]$ , donde un número alto indica alta prioridad y viceversa. El Tiempo de Descartado (DT) especifica el tiempo máximo que un paquete tiene permitido estar almacenado en el buffer de la MAC-hs del Nodo B antes de que este deba ser descartado. Para la clase en modo de conversación y video en demanda (streaming), el parámetro GBR (Tasa de Bit Garantizado) HSDPA puede ser establecido de acuerdo con los requerimientos de tasa de bit especificados en los atributos de la portadora UMTS para la clase de tráfico específico. Un SPI alto podría ser asignado para video en demanda u otros servicios en tiempo real, mientras que para otras aplicaciones generales de acceso a Internet podría ser asignado un valor bajo de SPI. Las especificaciones de 3GPP también permiten la implementación de opciones avanzadas donde el SPI es ajustado dinámicamente durante la llamada de paquetes. El valor del GBR y SPI para nuevos usuarios HSDPA quienes requieren acceso pueden también ser usados en la decisión de control de admisión HSDPA.

### 2.8.1.1.3. Control de Admisión

El control de admisión HSDPA es la funcionalidad que determina si a nuevos usuarios con terminales HSDPA puede ser garantizado el acceso a la celda y si ellos serán reservados usando HSDPA o el DCH. La decisión de control de admisión es tomada por la RNC. En caso de servicio de conmutación de circuitos,

como voz o video AMR, estos son soportados por el DCH. Para servicio de conmutación de paquetes el algoritmo en la RNC necesita considerar los parámetros de QoS proveídos por el núcleo de red al igual que la situación general de los recursos en la red. Sí solo el mejor esfuerzo de trafico sin requerimientos estrictos de QoS son transmitidos en HSDPA, entonces el algoritmo de control de admisión puede ser hecho de manera simple por el solo chequeo de la disponibilidad de los recursos de hardware de la RNC y el Nodo B, para servir a un nuevo usuario HSDPA. Requerimientos estrictos de QoS son considerados para HSDPA, un algoritmo de control de admisión avanzado es necesario para asegurar que los requerimientos de QoS para los usuarios HSDPA existentes en la celda al igual que requerimientos de nuevos usuarios pueden ser completamente cumplidos después de la potencial admisión.

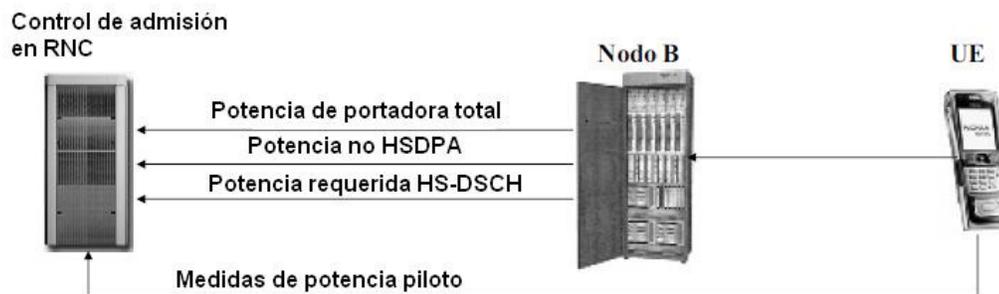


Figura 2.18 Medidas y parámetros aplicables para control de admisión HSDPA.

La figura 2.18 muestra un ejemplo de medidas y parámetros que están disponibles para el control de admisión HSDPA en la RNC: el Nodo B reporta el promedio total de potencia de transmisión de portadora y la potencia de transmisión para canales que no son HSDPA. Dadas esas medidas, la RNC puede computar el monto de potencia de transmisión HSDPA disponible en la celda. El Nodo B también reporta la potencia HS-DSCH necesaria para servir a todos los usuarios HSDPA existentes en la celda con sus tasas de bit garantizadas. Finalmente, el requerimiento de acceso de un nuevo usuario HSDPA es enviado en el Canal Piloto común (Common Pilot Channel, CPICH)  $E_c/N_0$  para reportes de medidas de la

RNC. Las últimas medidas pueden ser usadas por la RNC para estimar la calidad de la señal HS-DSCH del usuario. Dado estas medidas (junto con los atributos de calidad de servicio de usuario) la RNC puede estimar si hay capacidad HSDPA disponible para permitir el acceso a un nuevo usuario sin violar los requerimientos de QoS para los usuarios ya existentes en la celda como puede encontrarse en la referencia [2].

#### **2.8.1.1.4. Gestor de Movilidad**

HSDPA no usa soft handover, dado que la transmisión de HS-DSCH y HS-SCCH toma lugar solo desde una única celda, llamada la “celda servidora HS-DSCH”. La RNC determina la celda servidora HS-DSCH para la UE HSDPA activa. La celda servidora HS-DSCH es una de las celdas en el set activo de la UE. Un cambio sincronizado en la celda servidora HS-DSCH es soportado entre la UTRAN y la UE. Estas características permiten beneficios del servicio HSDPA con completa cobertura y con completa movilidad como es encontrado en la referencia [2]. La celda servidora HS-DSCH puede ser cambiada sin actualización del set activo del usuario para los canales dedicados de la Edición 99 o en combinación con el establecimiento, liberación o reconfiguración de los DCHs. Un cambio de celda servidora HS-DSCH está típicamente basado en reporte de medidas desde la UE. La Edición 5 de 3GPP incluye un nuevo procedimiento de medida para informar a la RNC de la mejor celda HS-DSCH servidora.

#### **2.8.1.1.5. Medida de Eventos para la Mejor Celda Servidora HS-DSCH**

LA RNC determina que celdas están en el set activo para transmisión de DCHs. La RNC servidora hace la decisión directamente basada en los reportes de medidas CPICH desde la UE. Una medida de eventos ha sido definida para HSDPA que es, un cambio a la mejor celda servidora HS-DSCH como se encontrar en la referencia [2]. Esta medida reporta la CPICH Ec/No de la mejor celda, y es activada cuando la mejor celda cambia (como se muestra en la Figura 2.19). Es posible configurar esa

medida de eventos para que todas las celdas en el set candidato del usuario sean tomadas en cuenta, o para restringir la medida de eventos para que solo las celdas que estén en ese momento en el set activo para DCH sean consideradas. Uso de un margen de histéresis para abolir cambios bruscos en la celda HS-DSCH servidora es también posible para esta medida de eventos, al igual como la especificación de un margen de celda individual para favorecer a ciertas celdas (por ejemplo, para extender su área de cobertura HSDPA).

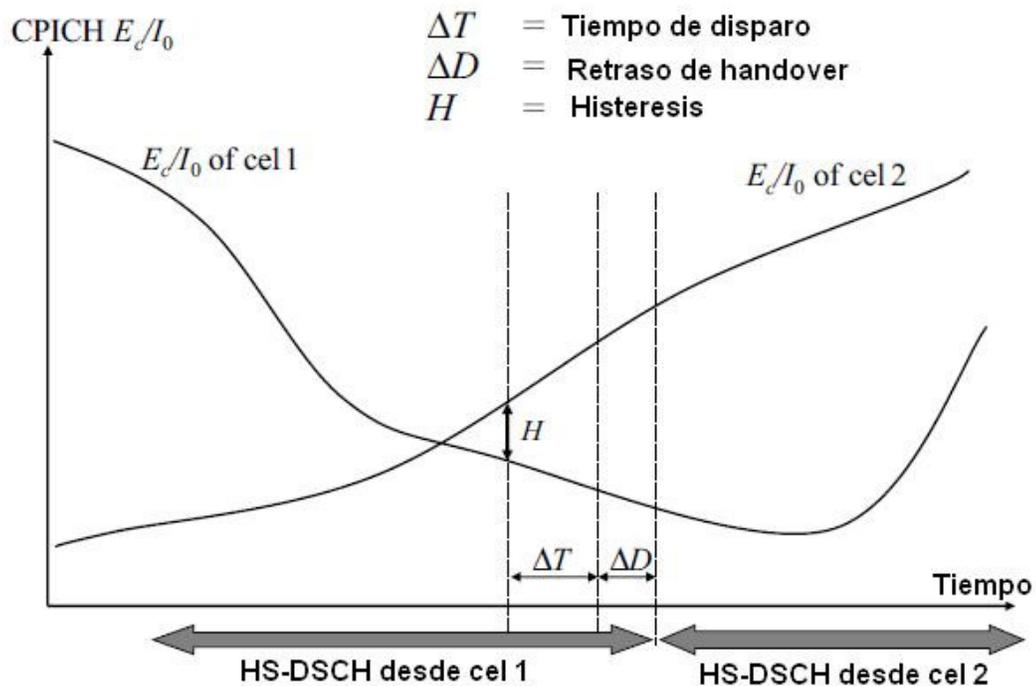


Figura 2.19 La grafica muestra la mejor medida de celda servidora HS-DSCH desde el usuario.

Si bien cambios en la celda HS-DSCH servidora son generados por medidas del enlace de bajada llevados a cabo por la UE. Medidas del enlace de subida pueden ser usadas por el Nodo B para asegurar que la conexión de datos no está perdida por la pobre cobertura del enlace de subida para la celda servidora. El Canal de Control Físico Dedicado a Alta Velocidad (High-Speed Dedicated Physical Control Channel, HS-DPCCH) debe ser recibido por la celda servidora de la portadora de

Información de Calidad de Canal (Control Quality Information, CQI) y mensajes ACK/NACK. El HS-DPCCH no puede usar macro diversidad y, por lo tanto, niveles altos de potencia y repetición son usados en HS-DPCCH en soft handover para mejorar la fiabilidad de señalización. Sí la calidad de la conexión del enlace de subida para la celda servidora llega a ser pobre, un cambio de celda HS-DSCH puede ser necesario para mantener fiable la señalización de enlace de subida.

### 2.8.1.1.6. Inter Handover Nodo B HS-DSCH hacia HS-DSCH

El soporte de movilidad HSDPA entre sectores de un mismo Nodo B y entre dos de diferentes Nodos B. El inter handover de Nodo B es mostrado en la Figura 2.20, donde la UE está cambiando de la celda HS-DSCH servidora desde una celda fuente a otra destino.

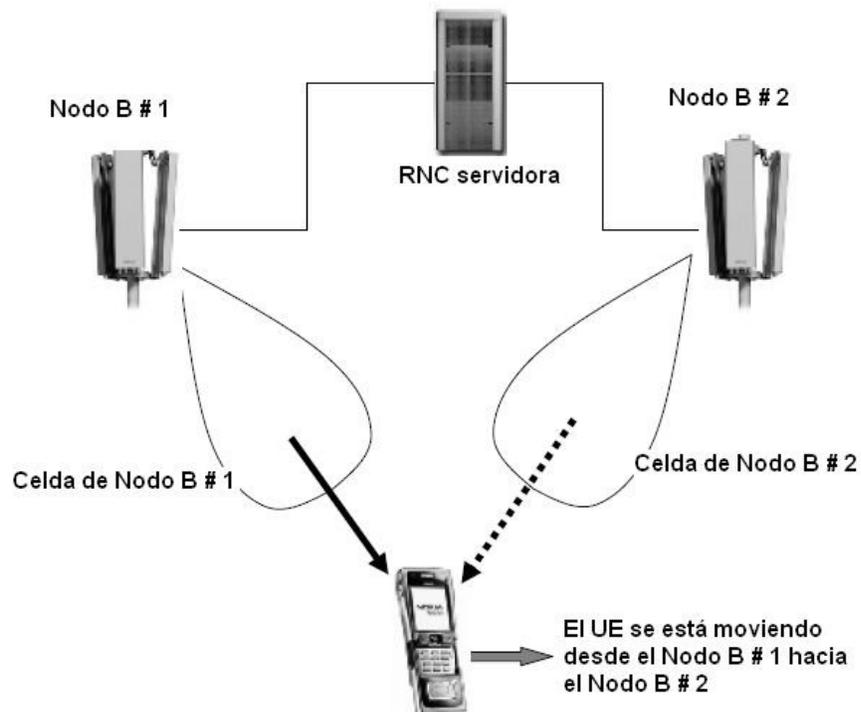


Figura 2.20 Inter handover Nodo B HS-DSCH hacia HS-DSCH.

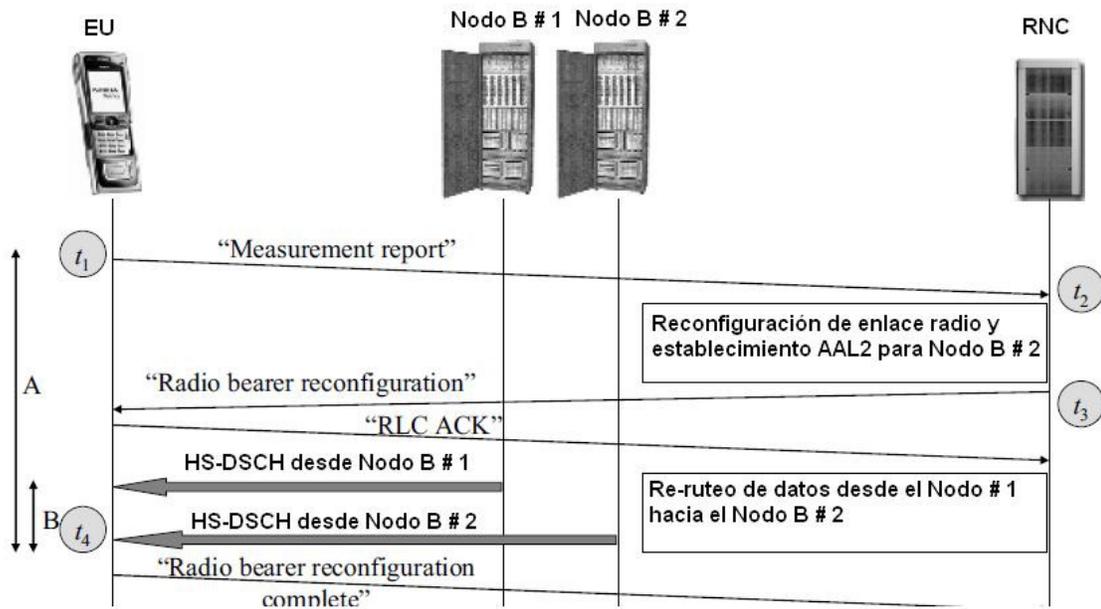


Figura 2.21 Procedimiento y tiempo para inter handover Nodo B HS-DSCH hacia HS-DSCH. A= retraso en el procedimiento, B= corte en recepción de datos.

El procedimiento de handover y el retraso para el caso de inter Nodo B es mostrado en la Figura 2.21. El análisis de retraso asume que la Portadora de Señalización Radio (Signalling Radio Bearer, SRB) es mapeada para el HS-DSCH y para el Canal Dedicado de Enlace de Subida Mejorada (Enhanced Uplink Dedicated Channel, E-DCH) para el enlace de subida con un TTI de 10 ms. Primero, el UE envía un reporte de medidas sobre el SRB cuando el disparo para medida de eventos está completamente lleno. La transmisión inicia en un tiempo  $t_1$  y la RNC recibe el mensaje en un tiempo  $t_2$ . La RNC servidora reserva los recursos de la estación base y recursos lub para el Nodo B hacia el cual se va a mover. La reserva de recursos puede ser hecha de forma rápida usando pre-configuraciones si los recursos han sido reservados antes. Una vez los recursos están listos en un tiempo  $t_3$ , la RNC envía un mensaje de reconfiguración sobre la portadora radio para la UE, el cual esta aun recibiendo datos desde el Nodo B fuente. Cuando la UE ha decodificado el mensaje de reconfiguración y el tiempo de activación ha expirado en un tiempo  $t_4$ , la UE moverá la recepción desde la celda fuente hacia la nueva celda.

La UE comienza a escuchar el HS-SCCH desde la nueva celda. Esto también mide la calidad del canal de la nueva celda y envía reportes CQI por consiguiente para la nueva celda. La MAC-hs para el usuario en la celda fuente es reiniciada al mismo tiempo del cambio de celda y también el almacenado de unidades de Carga Efectiva de Datos (Payload Data Units, PDUs) son eliminados. Al mismo tiempo, la unidad de flujo de control en la MAC-hs de la nueva celda comienza a solicitar PDUs a la RNC servidora, esta puede comenzar a transmitir datos en el HS-DSCH para el usuario. Es posible para la RNC enviar transmisión duplicada del paquete para ambos Nodos B durante el cambio de celda. Cuando la RNC recibe el mensaje de "Reconfiguration Complete" desde la UE, este puede liberar los recursos de la celda fuente.

El tiempo de transmisión denotado como tiempo "B" en la Figura 2.21, es despreciable dado que la UE está haciendo el cambio de celda sincronizadamente con el cambio de la transmisión de la red desde la celda fuente hacia la nueva celda. Permitiendo movilidad para un bajo retraso en tiempo real para servicios como VoIP.

El procedimiento de desfase A es definido desde el tiempo  $t_1$  (cuando la UE envía un reporte de medidas) hasta el tiempo  $t_4$  (cuando la UE recibe los datos desde la nueva celda). Este retraso es relevante en el caso de que las condiciones de canal y desvanecimiento cambien muy rápidamente. Asumiendo un bajo RLC de probabilidad de retransmisión, el retraso es 200-250 ms. El retraso  $t_3-t_2$  para la reserva de recursos de red depende en el uso de pre-configuración y en la configuración de la red radio. Los retrasos aproximados son:

- $t_2-t_1 = 50\text{ms}$
- $t_3-t_2 = 50-100\text{ ms}$
- $t_4-t_3 = 100\text{ ms}$

- Total = 200-250 ms

Antes que se efectuó el cambio de la celda servidora HS-DSCH, podría haber varios buffer PDUs en la MAC-hs de la celda fuente para el usuario, esto es, tanto PDUs que nunca han sido transmitidos al usuario y se encuentran esperando PDUs en el gestor ARQ Híbrido (Hybrid-ARQ) que está ya sea esperando ACK/NACK en el enlace de subida HS-DPCCH o PDUs que están esperando ser retransmitidos al usuario. Esos buffers PDUs en la celda fuente son eliminados y pueden ser recobrados por la retransmisión del Control de Enlace Radio (Radio Link Control, RLC) sí modo de conocimiento RLC está siendo usado. Cuando el protocolo RLC se da cuenta que los PDUs originales para la celda fuente no son conocidos, iniciará la retransmisión, lo cual implica reenvío de los mismo PDUs hacia la nueva celda. En función de reducir el retraso de transmisión PDU durante esta fase de recuperación, el protocolo RLC en la UE puede ser configurado para enviar un reporte del estatus RLC hacia la RNC inmediatamente después de que la celda servidora HS-DSCH ha sido cambiada. Esto implica que el protocolo RLC en la RNC puede inmediatamente comenzar con el reenvío de PDUs que fueron eliminados en la celda fuente con anterioridad para el cambio de celda HS-DSCH.

Hay aplicaciones que no incluyen ningún mecanismo de retransmisión de capa a alta velocidad, como es el caso para aplicaciones corriendo sobre el Protocolo de Datagrama de Usuario (User Datagram Protocol, UDP) y usando RLC transparente o modo sin reconocimiento. Tales aplicaciones son aquella en las cuales es preciso el mínimo retraso.

#### **2.8.1.1.7. Handover de HS-DSCH hacia DCH**

El handover desde un HS-DSCH hacia un DCH puede potencialmente ser necesario para usuarios que se están moviendo desde una celda con HSDPA hacia una sin HSDPA (como se muestra en la Figura 2.22). Una vez la RNC servidora decide iniciar tal handover, un mensaje de preparación de reconfiguración es

enviado para el Nodo B involucrado, al igual que un mensaje de reconfiguración de canal físico RRC para el usuario. Para inter handover de Nodo B HS-DSCH hacia uno DCH resulta en un reinicio de PDUs en la MAC-hs de la celda fuente.

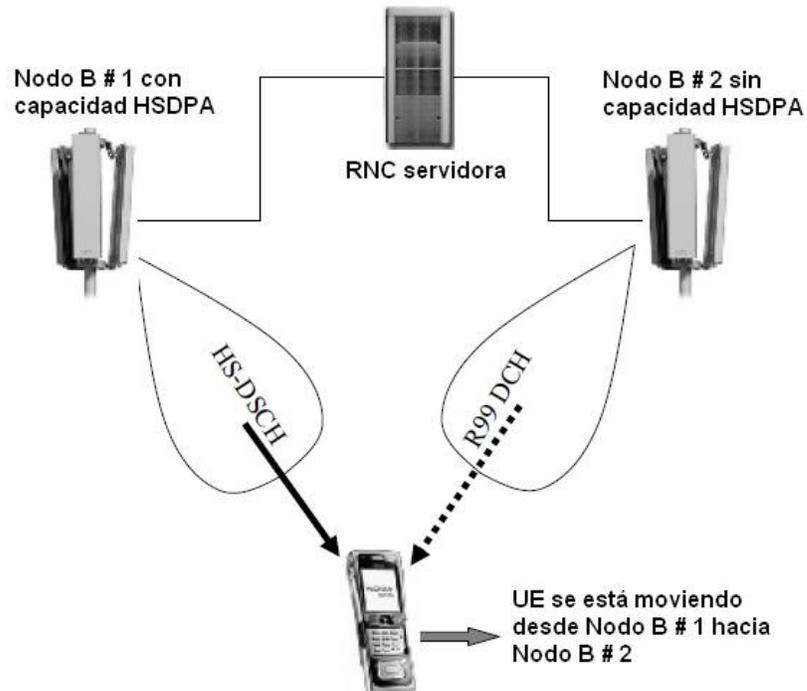


Figura 2.22 Ejemplo de handover de HS-DSCH hacia DCH.

## 2.8.1.2. Algoritmos en el Nodo B

### 2.8.1.2.1. Técnicas de Adaptación del Enlace HS-DSCH

El algoritmo de adaptación del enlace HS-DSCH en el Nodo B ajusta la tasa de transmisión de bit en el HS-DSCH para cada TTI cuando un usuario es programado para transmisión. Idealmente, la tasa de bit para transmisión del HS-DSCH debe ser ajustada como una función del par TTI HS-DSCH y la Razón de Señal a Interferencia Más Ruido (Signal-to-Interference-plus-Noise Ratio, SINR) experimentado por el usuario final. El principio general de la adaptación del enlace HS-DSCH es mostrado en la Figura 2.23.

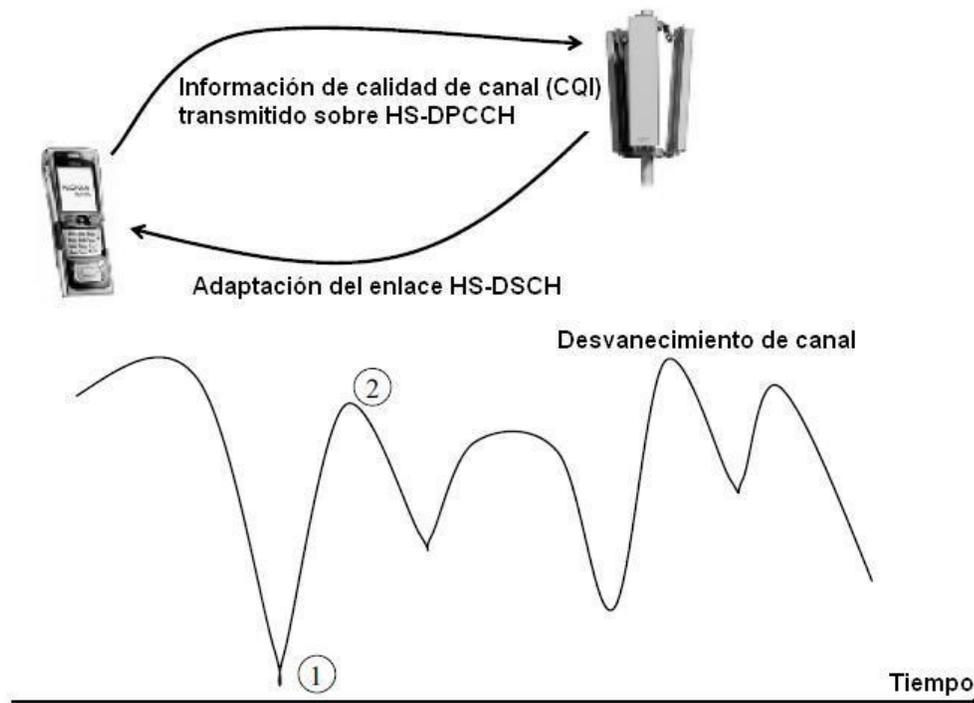


Figura 2.23 Principio de adaptación del enlace HS-DSCH: 1= El UE reporta información de baja calidad del canal y el Nodo B asigna una baja tasa de bit; 2= El UE reporta información de alta calidad de canal y el Nodo B asigna una alta tasa de bit.

La potencia total transmitida desde la celda servidora HS-DSCH es variante en el tiempo dado al control de transmisión de potencia DCH, el canal de radio para el enlace de bajada es variante sí el usuario se mueve, y la interferencia experimentada desde otra celda por el usuario final es también variante en el tiempo. Para el propósito de adaptación del enlace HS-DSCH, la UE periódicamente envía un CQI a la celda servidora HS-DSCH en el enlace de subida HS-DPCCH.

El CQI indica el máximo tamaño del bloque de transporte que puede ser recibido correctamente con al menos 90% de probabilidad de éxito. Esta información es señalizada vía un CQI en el rango de 0 hasta 31, donde cada paso corresponde aproximadamente a un paso de 1 dB en HS-DSCH SINR como puede encontrarse en la referencia [2].

Un algoritmo simple para la adaptación del enlace podría directamente seguir el valor CQI reportado por el UE. Sin embargo, puede ser necesario un ajuste en el reporte CQI agregando una compensación por las siguientes razones. La potencia HS-DSCH transmitida por el Nodo B hacia el usuario podría ser diferente de la potencia de transmisión HS-DSCH asumida por el UE en el tiempo que es entregando el reporte CQI. El UE asume que la potencia HSDPA es igual a la potencia del Canal Piloto Primario Común (Primary Common Pilot Channel, P-CPICH) más "I", donde "I" es una potencia de compensación de señalización para el UE vía señalización RRC desde la RNC.

El efecto de retraso de realimentación en el desempeño de adaptación del enlace ha sido previamente direccionado (esto puede encontrarse en la referencia [2]). La conclusión de los estudios indicaron una necesidad de un algoritmo de adaptación del enlace HS-DSCH para ajustar el CQI recibido desde un usuario antes de aplicarlo por ajuste del formato HS-DSCH de transmisión.

#### **2.8.1.2.2. Control de Potencia HS-SCCH**

La calidad de recepción del HS-SCCH es importante dado que el bloque de transporte en el HS-DSCH solo puede ser decodificado si el HS-SCCH ha sido primero correctamente recibido. Por lo tanto, suficiente potencia debe ser asignada para la transmisión del HS-SCCH con el fin de asegurar la recepción. Por otro lado, es también deseable reducir la potencia de transmisión HS-SCCH para disminuir los niveles de interferencia en la red. Es generalmente recomendado tener la potencia HS-SCCH controlada para cada TTI, en el cual la potencia HS-SCCH transmitida es ajustada en tal sentido que el usuario deseado tenga una alta prioridad de correcta decodificación (ver Figura 2.24). Una cantidad elevada de HS-SCCH es usada por el UE1 en la parte límite de la celda (borde) mientras un pequeño monto puede ser usado por la UE3 cercano a la estación base. El HS-DSCH usa adaptación del enlace en lugar que control de potencia a alta velocidad.

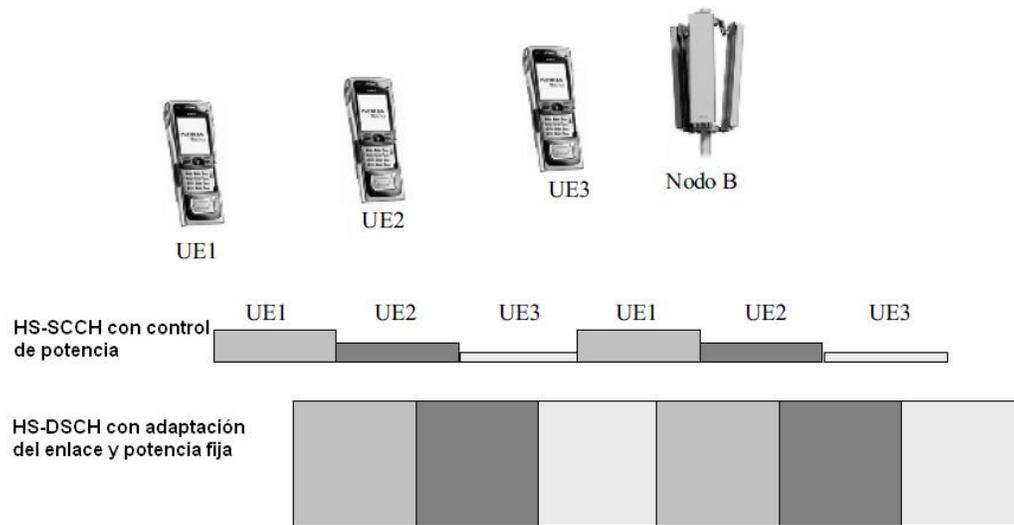


Figura 2.24 Principio detrás del control de potencia HS-SCCH.

### 2.8.1.3. Programador de Paquetes

El problema básico en un programador de paquetes es como compartir los recursos disponibles para un grupo de usuarios donde todos tienen derecho a recibir datos. Una formulación comúnmente usada para solucionar este problema es la propuesta hecha por Kelly<sup>20</sup> en la referencia [3]. Kelly usa el concepto de una función de utilidad,  $(U_n)r_n$ , donde “n” denota un usuario HSDPA particular y “ $r_n$ ” es el promedio de la transferencia de datos por el número de usuarios. En pocas palabras, la función de utilidad es una medida de la “felicidad o satisfacción” obtenida por ser programado. La mejor solución para el programador es en la que maximiza la suma de funciones útiles para todos los usuarios en cualquier tiempo dado. La suma de las funciones útiles es llamada la “función objetivo”.

### 2.8.2. Gestión de los Recursos Radio HSUPA

RRM para HSUPA consiste de funciones de asignación en la RNC, Nodo B y el UE. La Figura 2.25 muestra las diferentes funciones RRM. La RNC es responsable

<sup>20</sup> Profesor del Laboratorio de Estadísticas del Departamento de Matemáticas Puras y Matemáticas Estadísticas de la Facultad de Matemáticas de la Universidad de Cambridge, Cambridge, Inglaterra.

por la asignación de recursos HSUPA, por el control de admisión y por el control de handover. La RNC está también en control de los canales DCH de la Edición 99 y puede así controlar el balance entre la Edición 99 DCH y la Edición HSUPA. El Nodo B comparte los recursos entre los diferentes UEs HSUPA. La UE es responsable por seleccionar el bloque de transporte basado en la potencia de transmisión disponible y en los datos disponibles en el buffer.

En las siguientes sub secciones, los diferentes bloques funcionales en la RNC y el Nodo B son explicados.

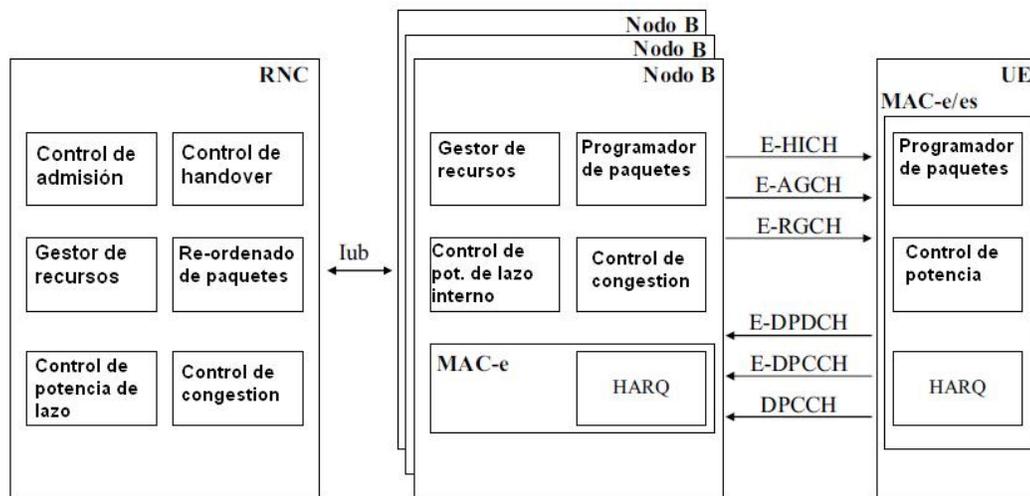


Figura 2.25 Visión de los diferentes bloques funcionales RRM para HSUPA en la RNC, Nodo B y UE.

### 2.8.2.1. Algoritmos en la RNC

Esta sección considera la asignación de recursos, parametrización de QoS, control de admisión y gestor de movilidad.

#### 2.8.2.1.1. Asignación de Recursos

La RNC establece el valor para la máxima potencia de ancho de banda recibida (incremento de ruido) para el Nodo B. La potencia recibida consiste de ruido termal,

interferencia inter celda, interferencia intra celda desde las conexiones DCH e interferencia intra celda desde conexiones E-DCH (HSUPA). Las conexiones DCH son controladas por la RNC ya sea en el control de admisión o en el programador de paquetes. Las conexiones E-DCH son controladas por el programador de paquetes HSUPA en el Nodo B. El programador HSUPA puede asignar potencia para usuarios E-DCH que no es usada por conexiones DCH y está bajo el nivel máximo de potencia de ancho de banda. El control de asignación de recursos en el enlace de subida es mostrado en la Figura 2.26.

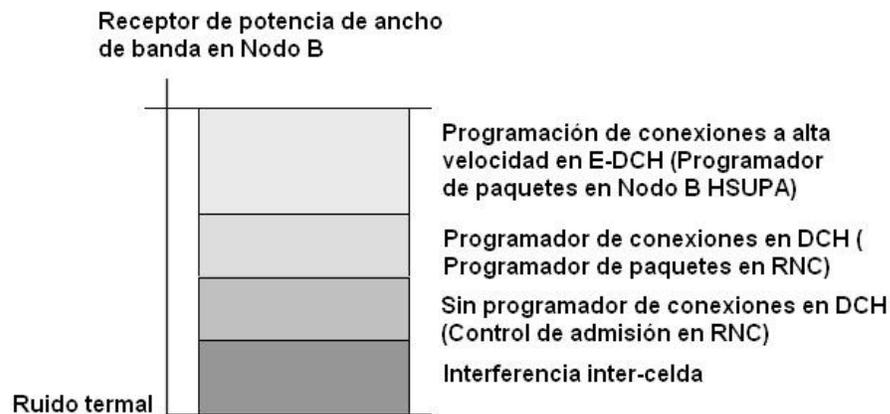


Figura 2.26 Control de asignación de recursos con HSUPA.

El programador HSUPA tiene información instantánea sobre la interferencia en el enlace de subida, situación por la cual es asignada en el Nodo B. El programador también controla la interferencia desde otros UEs activos en una RNC basada en programador de eventos. La Figura 2.27 muestra la interferencia de enlace de subida como una función de la transferencia de datos en la celda. La RNC puede establecer un alto valor para niveles de interferencia cuando HSUPA es usado dado que la variación de interferencia es más pequeñas que en WCDMA.

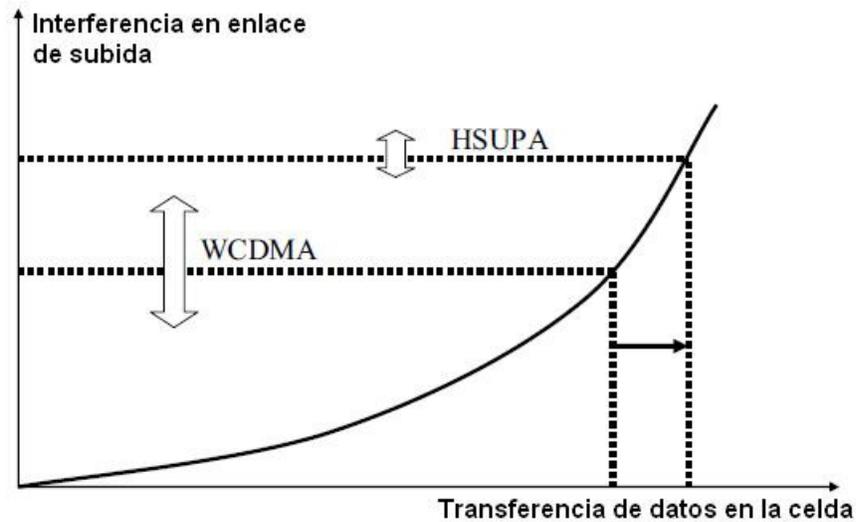


Figura 2.27 Curva de carga de enlace de subida y el impacto del programador a alta velocidad.

LA RNC servidora puede enviar una indicación de congestionamiento al Nodo B. Este es un parámetro específico del UE en la red de transporte y puede tomar uno de los siguientes tres valores:

1. Sin congestión.
2. Fortalecer retraso: significa el retraso de paquetes en la red de transporte está incrementando.
3. Perdida de paquetes: significa que un cierto número de paquetes en la red de transporte están perdidos.

Sobre la recepción de un indicador de congestión para un UE, el Nodo B puede bajar la tasa de bit de un usuario en particular, hasta q la situación de congestión esté resuelta.

### **2.8.2.1.2. Parametrización de QoS**

La RNC da un número de parámetros de QoS al Nodo B, el cual puede usar el programador de paquetes de la siguiente manera:

- El indicador de prioridad del programador indica la prioridad relativa de diferente flujo MAC-d por asignación de 16 diferentes valores. El valor 15 indica la más alta prioridad y 0 indica la más baja.
- El Mac-e garantiza una tasa de bit indicando la garantía del número de bits por segundo a ser entregados sobre la interface aire sobre condiciones de operación normal para el cual el Nodo B debe proveer suficientes recursos de enlace de subida.
- El número máximo de transmisiones por HARQ define el número de transmisiones L1 HARQ para cada flujo MAC-d.

### **2.8.2.1.3. Control de Admisión**

El control de admisión decide si admitir un nuevo usuario HSUPA o no, la siguiente información está disponible para esa decisión:

- Número de usuarios HSUPA activos, la RNC tiene un límite máximo de número de usuarios. El hardware de red puede también limitar el número de usuarios.
- Niveles de interferencia de enlace de subida, el nivel de interferencia puede ser obtenido de las medidas de la Potencia Total de Ancho de Banda Recibida (Received Total Wideband Power, RTWP). Si el nivel de interferencia es demasiado alto comparado con el valor predefinido y si la tasa de datos de los usuarios existentes no pueden ser bajada de nivel, el nuevo usuario podría ser bloqueado.
- Indicador de prioridad del programador, este indica la prioridad de una nueva llamada, la cual puede ser comparada con la SPI de las llamadas existentes. Si la nueva llamada tiene una prioridad alta y existen llamadas teniendo baja prioridad, el

control de admisión puede elegir admitir una nueva llamada, empujando potencialmente a la degradación en calidad de las llamadas existentes.

- Tasa de bit garantizada, el control de admisión necesita tomar el GBR en cuenta para estimar si hay suficientes recursos para una nueva llamada GBR, mientras también necesita asegurar el GBR de usuarios existentes en la red.
- Tasa de bit proveída en el E-DCH, el Nodo B reporta la tasa de bit proveída en el E-DCH para cada clase de prioridad. Este puede ser comparado con la tasa de bit para las diferentes clases SPI, cuando hace la decisión de control de admisión para determinado usuario.
- Tasa de bit proveída en el DCH, la RNC es consciente de la tasa de bit proveída en el DCH. Esto puede ser comparado con la tasa de bit para usuarios DCH, cuando hace la decisión si admitir un nuevo usuario E-DCH o no.
- Limitaciones de enlace de bajada, cuando un nuevo usuario HSUPA es admitido, este también requiere HSDPA en la dirección del enlace de bajada. Si no hay recursos para HSDPA, el usuario es bloqueado siempre si hay recursos en el enlace de subida.

#### **2.8.2.1.4. Gestor de Movilidad**

El control de handover en la RNC decide, primero, cuales celdas están en el set activo y, segundo, cual celda es la celda servidora HSUPA. Lo primero es muy similar para el control de handover Edición 99 para WCDMA, excepto para el hecho que el tamaño máximo del set activo es igual a 4 para HSUPA mientras en la Edición 99 las UEs deben soportar hasta 6 celdas en el set activo. El algoritmo de la celda servidora decide cual celda está en control del usuario HSUPA. La celda servidora HSUPA puede ser diferente a la celda servidora HSDPA como se puede encontrar en la referencia [2], pero generalmente la celda servidora para HSDPA y

para HSUPA es la misma y el cambio de celda servidora tomaría lugar al mismo tiempo.

### **2.8.2.2. Algoritmos del Nodo B**

En el Nodo B la función principal relacionado con HSUPA es la programación de paquetes y HARQ.

#### **2.8.2.2.1. Programador de paquetes**

Dos diferentes modos de programador son definidos para HSUPA: Modo programador de Nodo B con control de señalización L1/MAC en el enlace de subida y enlace de bajada, y RNC controlada por modo sin programador. LA RNC controlada puede ser usada por portadores GBR (tales como para VoIP). La RNC controlada por modo sin programador es similar a la asignación WCDMA DCH, pero usa retransmisión a alta velocidad de L1. En esta sección se considera el Nodo B basado en programador de paquetes.

HSUPA tiene dos principales ventajas sobre WCDMA Edición 99: L1 HARQ y Nodo B basado en programador de paquetes. El primero da un beneficio en términos de eficiencia espectral, está dispuesto a operar en un alto Bloque de Probabilidad de Error (Block Error Probability, BLEP) sin incrementar el retraso. El segundo da una ganancia que viene dada por el programador de paquetes a alta velocidad, el cual está disponible para operación en lo alto del factor de carga y en transferencia de datos de la celda.

El entorno del programador de Nodo B puede ser visto en la Figura 2.28. La figura muestra que el programador de paquetes está conectado a muchos MAC-e's. Cada UE HSUPA tiene su propia entidad MAC-e en el Nodo B. La función más importante del MAC-s es cuidar de la recepción y reconocimiento del lado del proceso HARQ.

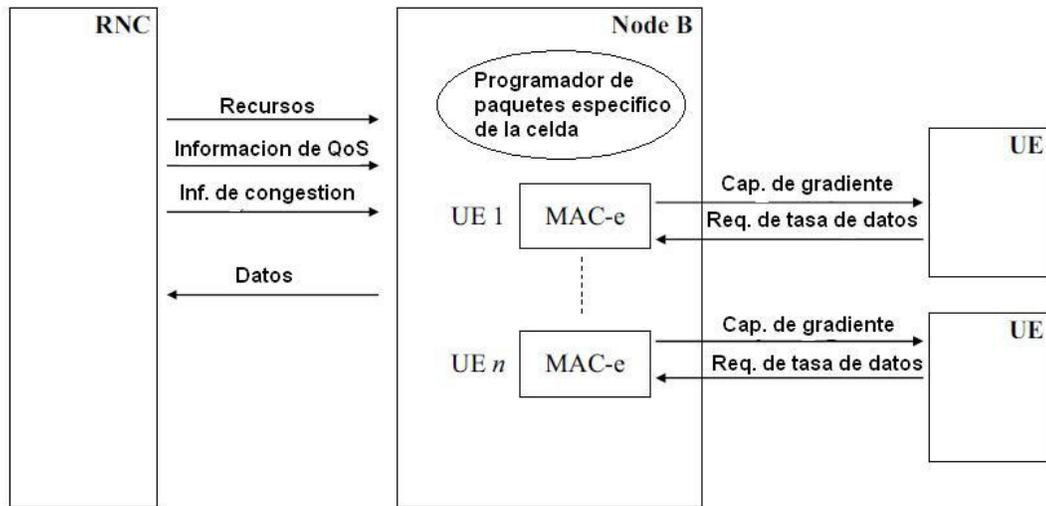


Figura 2.28 Nodo B basado en programador de paquetes HSUPA.

El Nodo B puede actualizar la asignación de capacidad del UE basado en el “Happy bit” o en el estatus de información del buffer de la UE. La UE también reporta la potencia de transmisión disponible para indicar si aun puede soportar una mayor cantidad de datos en el enlace de subida desde el punto de vista de la potencia. El Nodo B puede bajar la asignación de capacidad de la UE si la capacidad asignada no es completamente utilizada y la utilización de canales es baja.

- El Nodo B puede proporcionar dos diferentes tipos de capacidades para el UE cuando este quiere cambiar su asignación: Absoluto, cuando da una razón de potencia absoluta entre el Canal de Datos Físico Dedicado (Dedicated Physical Data CHannel, DPDCH) y el Canal de Control Físico Dedicado (Dedicated Physical Control Channel, DPCCH) para el UE, y Relativo, el cual puede ser ya sea alto, bajo o permanente. Cuando el UE recibe un comando de alto o bajo este ajustará la asignación para un paso adelante o atrás de la asignación seleccionada durante el último TTI del proceso HARQ relevante. El Relativo es enviado en el Canal Concedido Relativo E-DCH (E-DCH Relative Grant CHannel, E-RGCH), el Absoluto es

enviado en el Canal Absoluto Concedido E-DCH (E-DCH Absolute Grant CHannel, E-AGCH). Absoluto puede solo ser enviado por la celda servidora mientras el relativo en la dirección decreciente puede ser enviado por una celda no servidora en orden a solventar la sobrecarga.

## **2.9. Referencias**

[1] WCDMA for UMTS (3rd edn). John Wiley & Sons.

[2] 3GPP TS 25.856 High Downlink Packet Access; Layer 2 and 3 aspects.

Disponible en [www.3gpp.org](http://www.3gpp.org)

[3] Cargo y Control de Tasa de Transferencia para Trafico Elástico, F. Kelly 1997.

[4] The Mobile Broadband Evolution: 3GPP Release 8 and Beyond. 3G Americas, Febrero de 2009. Disponible en [www.3gamericas.com](http://www.3gamericas.com)

[5] Concept of HSPA, Agilent Technologies.

## **CAPÍTULO III**

# **“PRINCIPIOS DE HSPA”**

### **3.1. Introducción**

Este capítulo está dividido en dos partes, en la primera de ellas se cubre los principios del Acceso a Paquetes por Enlace de Bajada a Alta Velocidad (High Speed DownLink Packet Access, HSDPA) y en la segunda los principios del Acceso a Paquete por Enlace de Subida a Alta Velocidad (High Speed Uplink Packet Access, HSUPA) para WCDMA, en cada una de las partes se encuentran documentadas las claves de las nuevas tecnologías al igual que los procedimientos necesarios para la implementación funcional de las mismas. También en este capítulo se encuentra la información referente a los nuevos canales físicos y lógicos introducidos con HSPA y como se ha modificado el funcionamiento de la capa física y de la capa MAC dentro del protocolo HSPA.

### **3.2. Principios de HSDPA**

#### **3.2.1. HSDPA contra Edición 99 DCH**

En la Edición 99 existen básicamente tres diferentes métodos para la operación de datos en el enlace de bajada: el Canal Dedicado (Dedicated Channel, DCH), el Canal de Acceso Remitido (Forward Access Channel, FACH) y el Canal Compartido de Enlace de Bajada (Downlink Shared Channel, DSCH). El DSCH ha sido reemplazado por de facto con el DSCH a alta velocidad para HSDPA. Esto ha sido reorganizado en la 3GPP y el DSCH ha sido removido de las especificaciones desde la Edición 5 en adelante, simplemente dado al deficiente interés de su implementación.

El FACH es usado ya sea para pequeños volúmenes de dato o cuando se establece la conexión y durante la transferencia de estado. En conexión con HSDPA, el FACH es usado para portar con la señalización cuando el terminal es movido de un estado a otro, debido a la inactividad del estado CELL\_DCH al estado CELL\_FACH, CELL\_PCH o URA\_PCH. El FACH opera por su propia cuenta y dependiendo del estado en que el terminal se encuentre, o bien se decodificará

FACH constantemente (CELL\_FACH) o estará basado en los mensajes de registro (paging). El FACH no cuenta con control rápido de potencia ni soft handover. Para el caso específico del Servicio Multicast de Broadcast Multimedia (Multimedia Broadcast Multicast Service, MBMS), puede ser usada selección de combinación o combinación suave (Soft Combining) en el FACH, pero en cualquier caso, no hay capa física de retroalimentación para la actividad en el FACH y en consecuencia, el control de potencia no es factible. El FACH es portado en el Canal Físico de Control Común Secundario (Secondary Common Control Physical Channel, S-CCPCH) con factor fijo de dispersión. Sí es necesaria una mezcla de servicios, por ejemplo voz y datos, entonces el FACH no puede ser usado.

La Edición 99 basada en DCH es la parte clave del sistema y la Edición 5 HSDPA es siempre operada con la rutina DCH en paralelo (como se muestra en la Figura 3.1). Sí el servicio es solo para paquete de datos, entonces al menos la señalización de portadora radio (Signalling Radio Bearer, SRB) es cargada sobre el DCH. Sí el servicio es de conmutación de circuitos (parecido a llamada de voz AMR o video llamada para el PS) el servicio es portado sobre el DCH. Con la Edición 6 la señalización puede también ser portada prescindiendo del DCH. En la Edición 5, el enlace de subida de datos de usuario siempre va en el DCH (cuando HSDPA está activo), mientras en la Edición 6 una alternativa es proporcionada por el DCH Mejorado (Enhanced DCH, E-DCH) con la introducción de HSUPA.

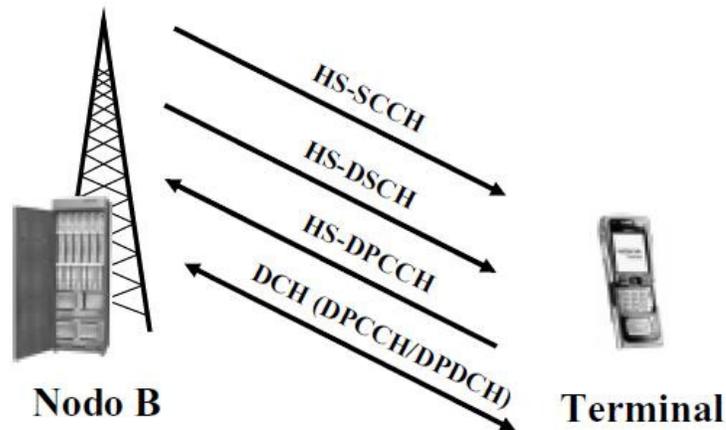


Figura 3.1 Canales Necesarios para Operación HSDPA en Edición 5

El DCH puede ser usado por cualquier tipo de servicio y tiene un factor de dispersión fijo en el enlace de bajada con asignación fija durante la conexión. Así, reserva los códigos de recursos correspondientes a la tasa pico de transferencia de datos de la conexión. Capas de señalización más altas podrían ser usadas para reconfigurar el código usado por el DCH, pero es demasiado lento para reaccionar a los cambios en el tráfico. En el caso de múltiples servicios, la capacidad reservada es igual a la suma de los picos de transferencia de datos de los servicios. El pico teórico de transferencia de datos es de 2 Mbps al igual que 384 kbps es la mayor transferencia de datos DCH implementada en el mercado (WCDMA). Parte de la programación de eventos y el manejo de retransmisión es realizado en la RNC. La estación base final, el control de potencia a alta velocidad es la clave funcional para el DCH sumado a la codificación de paquetes proveído por la RNC. Soft handover (macro-diversidad) es soportado por el DCH, y en tal caso todas las estaciones base necesitan transmitir exactamente el mismo contenido (excepto para los comandos de control de potencia) con tiempos idénticos para facilitar combinación en la diversidad.

Tabla 3.1 Comparación de Propiedades Fundamentales de DCH y HS-DSCH.

<b>Características</b>	<b>DCH</b>	<b>HS-DSCH</b>
<b>Factor variable de dispersión</b>	NO	NO
<b>Control de potencia a alta velocidad</b>	SI	NO
<b>Codificación y modulación adaptativa</b>	NO	SI
<b>Operación multicódigo</b>	SI	SI, extendido
<b>Retransmisión de capa física</b>	NO	SI
<b>Programación de eventos basado en BTS y adaptación de enlace</b>	NO	SI

La operación fundamental de HSDPA está basada en el uso de adaptación de enlace, programador de eventos a alta velocidad y retransmisión de capa física. Todos estos métodos tienen el mismo objetivo, mejorar el desempeño de la transmisión de paquete de datos a través del enlace de bajada en términos de capacidad y de tasa de bit práctica. HSDPA no soporta las características de DCH como el control a alta velocidad de la potencia o soft handover (como se resume en la Tabla 3.1).

### 3.2.2. Claves de la Tecnologías HSDPA

Nuevos canales han sido introducidos para la operación de HSDPA. Para datos de usuario está el Canal Compartido de Enlace de Bajada a Alta Velocidad (High-Speed Downlink Shared Channel, HS-DSCH) y el correspondiente canal físico. Para la señalización asociada se hacen necesarios dos canales: Canal de Control Compartido a Alta Velocidad (High-Speed Shared Control Channel, HS-SCCH) en el enlace de bajada y el Canal de Control Físico Dedicado a Alta Velocidad (High-Speed Dedicated Physical Control Channel, HS-DPCCH) en la dirección del enlace de subida. En adición al canal básico HSDPA cubierto en las especificaciones de la Edición 5, hay un nuevo canal en las especificaciones de la Edición 6, el Canal Físico Dedicado Fraccional (Fractional Dedicated Physical Channel, F-DPCH), utilizado para operación cuando todo el tráfico de enlace de bajada es portado en el HS-DSCH. Los canales necesarios para la operación de HSDPA son mostrados en la Figura 3.1.

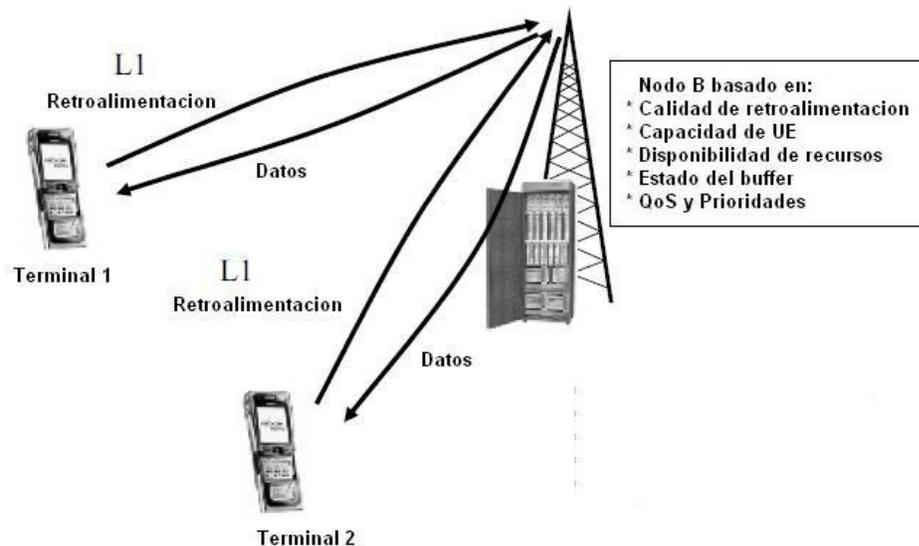


Figura 3.2 Principio del programador de eventos en el Nodo B HSDPA

El principio de la operación de HSDPA es mostrado en la Figura 3.2, donde el Nodo B estima la calidad de los canales de cada usuario HSDPA activo sobre la base de la capa física de realimentación recibida en el enlace de subida. La adaptación del programador de eventos y la adaptación de enlace son guiados a un ritmo adelantado dependiendo del algoritmo del programador de eventos y del esquema de la priorización de usuario.

La otra clave de la nueva tecnología es la retransmisión de capa física. Mientras en la Edición 99 una vez los datos no son recibidos correctamente, hay necesidad de retransmisión para ser enviado de nuevo desde la RNC. En la Edición 99 no hay diferencia en operación de capa física, a pesar de sí el paquete es una retransmisión o un nuevo paquete. Con HSDPA el paquete es primero recibido en el buffer de la BTS (como ilustra en la Figura 3.3). La BTS protege el paquete en el buffer siempre sí lo ha enviado al usuario y, en caso de que la decodificación de paquetes falle, retransmisión automática toma lugar desde la estación base sin envolver a la RNC. Como se muestra en el ejemplo de la figura 3.3, usando el modo de operación de Control de Enlace Radio Reconocido (Radio Link control Acknowledged, RLC-Acknowledged), la capa de Control de Enlace Radio (Control Link Radio, RLC) de reconocimiento es proporcionada en la capa RLC como sería hecho basado en la operación de la Edición 99. Ahora, el uso de retransmisión RLC no es muy frecuente, por ejemplo, con cuatro retransmisiones y un Bloque de Tasa de Error (Block Error Rate, BLER) inicial de 10%, la probabilidad de retransmisión debe de ser por lo menos de 0.1%. Retransmisión de capa RLC es más común en conexiones con operaciones de movilidad.

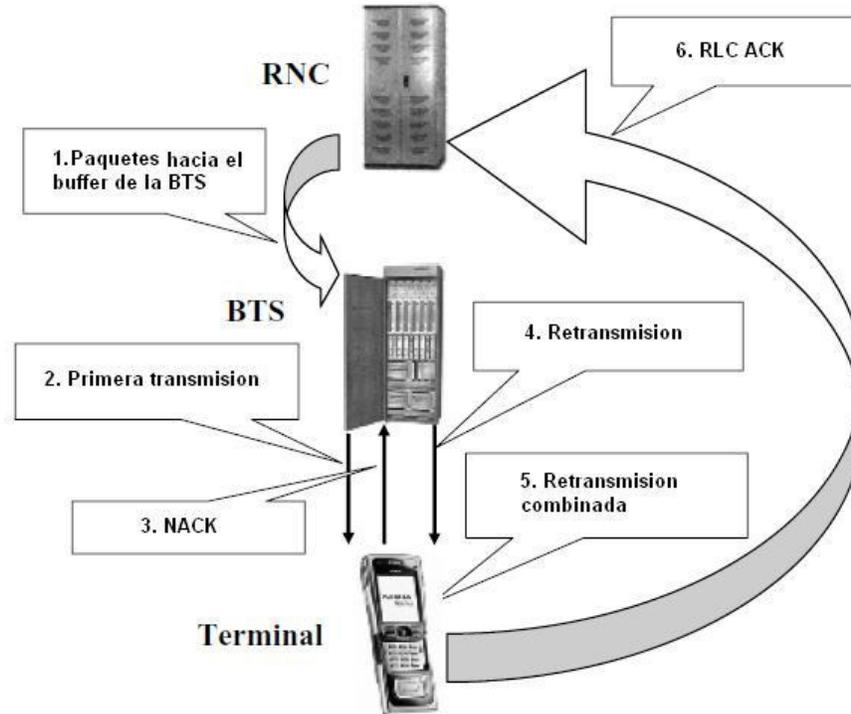


Figura 3.3 Manejo de la transmisión por la BTS

### 3.2.2.1. Canal Compartido de Enlace de Bajada a Alta Velocidad

El HS-DSCH es el canal de transporte que porta con los datos de usuario HSDPA. En la capa física el HS-DSCH es mapeado sobre el Canal Compartido de Enlace Físico de Bajada a Alta Velocidad (High-Speed Physical Downlink Shared channel, HS-PDSCH). Las claves diferenciales con respecto a la Edición 99 DCH basado en operación de paquete de datos son las siguientes:

- Deficiencia en el control de potencia a alta velocidad, en cambio, se usa adaptación del enlace la cual selecciona la combinación que mejor se adapte a los códigos, tasa de código y modulación a ser usada.
- Apoyo de modulación de más alto orden que el DCH, con Modulación de Amplitud de Cuadratura 16 (16 Quadrature Amplitude Modulation, 16QAM) el número de bits portado por símbolo es el doble en condiciones favorable comparado con

Modulación por Desplazamiento de Fase (Quadrature Phase Shift Keying, QPSK) en la Edición 99.

- Asignación de usuario basada en estación base con programador de eventos cada 2 ms y señalización de capa física a alta velocidad. Con DCH la capa de señalización más alta de la RNC aloja código semipermanente (y un factor de dispersión) para ser usado. El Intervalo de Tiempo de Trasmisión (Transmission Time Interval, TTI) es largo con el DCH, permitiendo valores tales como 10, 20, 40 o 80 ms. (El más largo es limitado en el caso específico de la pequeña tasa de velocidad de transferencia de datos que tiene un factor de dispersión de 512).
- Uso de retransmisión de capa física y retransmisión combinada, mientras que con el DCH (sí retransmisión es usada) son basados en retransmisión de niveles de RLC.
- Deficiencia de soft handover, los datos son enviados desde un único HS-DSCH servidor.
- Deficiencia de información de control de capa física en el HS-DSCH, esto es portado en lugar del HS-SCCH por HSDPA y en el DCH asociado (control de potencia de enlace de subida).
- Operación de múlticódigo con factor de dispersión fijo. Solo factor de dispersión 16 es usado, mientras con DCH el factor de dispersión podría ser un parámetro estático entre 4 y 512.
- Con HSDPA solo turbo código es usado, mientras que con el DCH convolución de código puede también ser usado.
- No hay transmisión discontinua (Discontinuous Transmission, DTX) a nivel de slots. El HS-PDSCH es ya sea completamente transmitido o no transmitido por completo durante el TTI de 2 ms.

Una propiedad importante del HS-DSCH es la dinámica de los recursos compartidos posibilitado por el periodo de asignación de 2 ms. Cuando hay datos para un usuario asignado en el HS-PDSCH, ellos son enviados continuamente durante el TTI de 2 ms. No hay transmisión discontinua (Discontinuous Transmission, DTX) en el nivel de slots como con el DCH, mientras que códigos de recurso con el DCH son parcialmente completados con una tasa de velocidad más baja. En línea con la Figura 3.4, la posición DTX en los slots (y dividido sobre el TTI) reduce la interferencia generada en el enlace de bajada pero mantiene el códigos de los recurso ocupados con la velocidad de transmisión de datos en el DCH más alto posible. Por ejemplo, con 384 kbps de enlace de bajada, la reserva de código de recursos no es cambiada cuando se mueve a una menor tasa de transferencia de datos. Sí permite un pico de transmisión de datos de 384 kbps, entonces como la aplicación va hacia abajo, digamos, 16 kbps, el único camino para reducir el consumo de recursos podría ser reconfigurar el enlace de radio. Esto de nuevo toma tiempo en reconfigurar e “inmovilizar” la tasa de transmisión de datos en un nuevo y más pequeño valor hasta que otra reconfiguración tome lugar para una elevación de tasa de transmisión de datos. Con el HS-PDSCH, una vez no hay datos a ser transmitidos, no hay transmisión sobre el HS-DSCH para el usuario en cuestión pero los recursos para los 2 ms son asignados a otro usuario en su lugar.

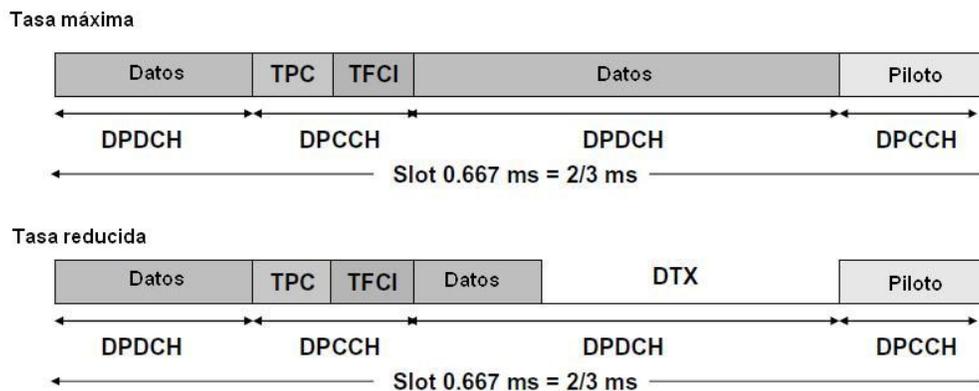


Figura 3.4 Transmisión de enlace de bajada discontinuo con Edición 99 DCH.

El HS-PDSCH es siempre transmitido en conexión con el HS-SCCH y, adicionalmente, el terminal también siempre recibe el DCH el cual porta servicios como la conmutación de circuitos AMR o video al igual que el Portador de Señalización Radio (Signalling Radio Bearer, SRB). La Edición 6 permite mejoras de operación con el mapeo de SRB en el HS-DSCH. Detalles de HS-PDSCH pueden encontrarse en la referencia [1].

### **3.2.2.1.1. Codificación HS-DSCH**

En el HS-DSCH solo es usada turbo codificación. Esto fue motivado por el hecho que turbo código supera a la convolución de código. La cadena de canal de código es simplificada desde el correspondiente DCH, no hay necesidad de manejo de DTX o modo comprimido con el HS-DSCH, hay un canal de transporte activo a la vez y solo pequeños pasos en multiplexacion/de-multiplexacion son necesarios. Otro nuevo problema es el manejo de 16QAM y el consiguiente número variable de bits transportados por el canal físico, incluso cuando el número de códigos utilizado se mantiene fijo. Otra nueva funcionalidad es el bit de codificación (scrambling) en la capa física para el HS-DSCH. La cadena codificada del canal HS-DSCH es mostrada en la Figura 3.5.

La 16QAM cuenta con la función específica de arreglo de constelación, la cual mapea los bits para diferentes símbolos dependiendo del número de transmisión. Esto es beneficioso dado que en 16QAM no todos los símbolos tienen igual probabilidad de error en la constelación. Esto es debido a que diferentes símbolos tienen diferente número de “símbolos vecinos”, en los cuales toman lugar aquellos que se encuentran más cerca de los ejes, con un gran número de símbolos vecinos (como muestra la Figura 3.5) es más probable que uno de ellos sea decodificado incorrectamente que otros que se encuentran más lejos de los ejes.

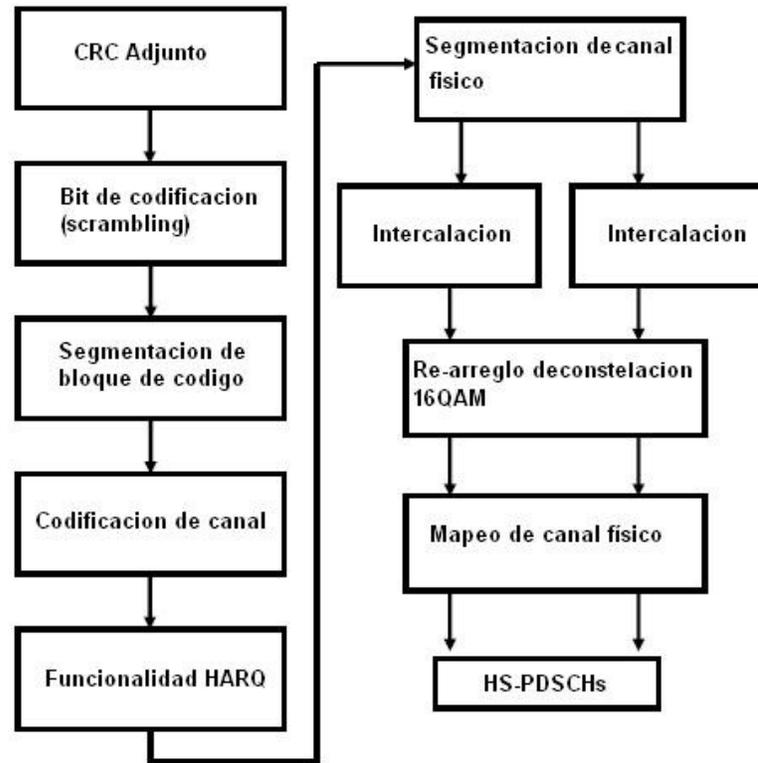


Figura 3.5 HS-DSCH Cadena de codificación de canal

La funcionalidad del bit de codificación en la Figura 3.5 fue introducida para abolir la tenencia de secuencias las cuales terminan repitiendo el mismo símbolo (largas secuencias de “1s” y “0s”). Esto podría ocurrir con algunos tipos de contenido, y específicamente cuando no se está usando cifrado en las capas superiores. En tal caso el terminal tendría dificultades con el nivel estimado de potencia para HS-DSCH y, esta es la razón por la que la capa física de codificación (scrambling) fue introducida. La operación es la misma para todos los usuarios y es puramente para asegurar buenas propiedades de la señal para la demodulación.

La funcionalidad de ARQ-híbrido (Hybrid-ARQ, HARQ) mostrada como un único bloque en la cadena de codificación en la Figura 3.5 puede estar más allá de la división de diferentes elementos (como se muestra en la Figura 3.6). La

funcionalidad de HARQ se compone de dos fases de tasa de concordancia de funcionalidad que permiten la sintonización de la versión al utilizar diferentes retransmisiones. El buffer mostrado debe ser considerado solo como un buffer virtual, la implementación puede consistir de una única tasa de velocidad relacionando bloques. HARQ puede ser operado en dos diferentes sentido, con transmisión idéntica o con no idéntica.

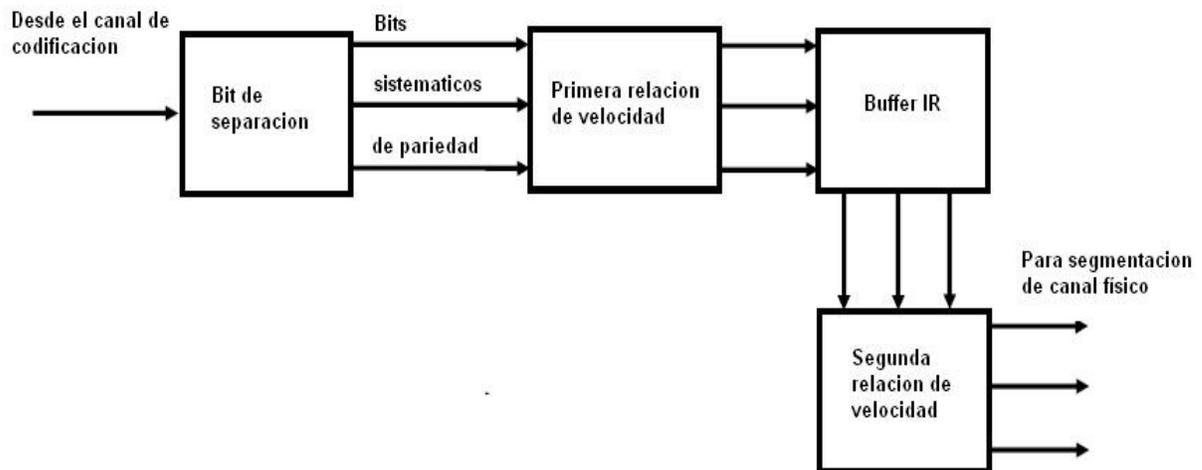


Figura 3.6 Funcionalidad HARQ

El uso de retransmisión idéntica es a menudo referido en la literatura como “Caza o Combinación Suave”. En este caso la tasa que relaciona la funcionalidad es idéntica entre transmisiones y siempre el mismo bit se mantiene después que la operación de tasa de relacionamiento es enviada. Este principio es ilustrado en la Figura 3.7. A pesar del número de retrasmisiones, la operación de tasa de relacionamiento es siempre igual para cada transmisión del mismo paquete.

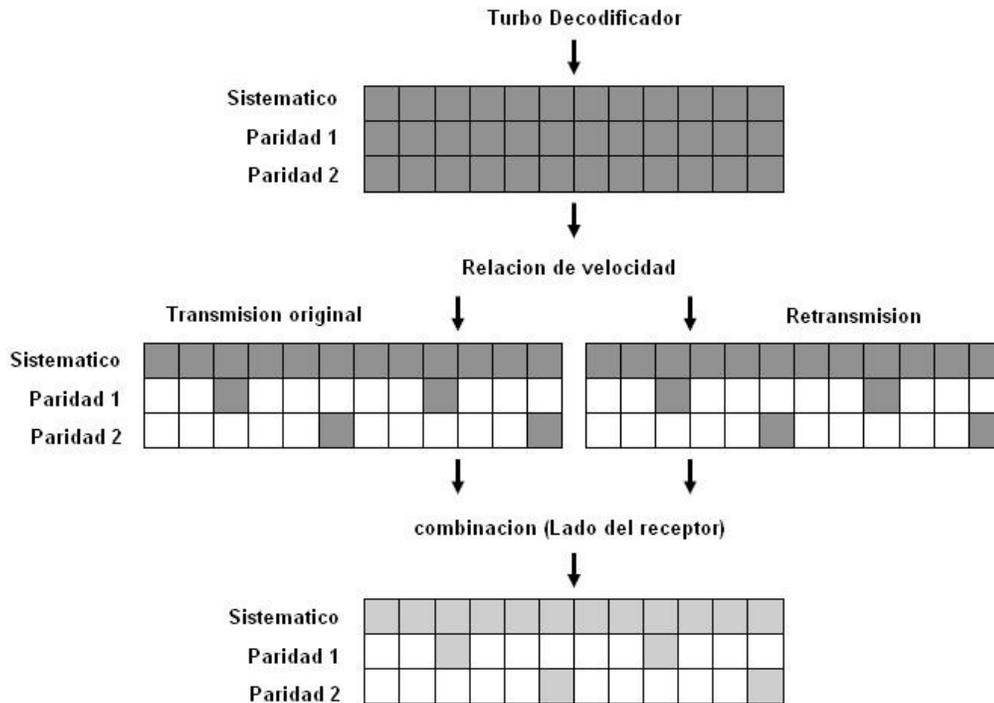


Figura 3.7 Principio de combinación con retransmisión idéntica

El terminal receptor tiene que almacenar las muestras recibidas como un valor preliminar. Esto demanda más memoria de los buffers. Como también es memoria rápida hay límites para cuanto de tal memoria es posible obtener por el terminal. El hecho que retransmisiones sean manejadas por la estación base hace la situación completamente factible desde el punto de vista del terminal. Con retransmisión manejada desde la RNC podría ser demasiado el retraso y la combinación suave con grandes tasas de velocidad podría simplemente requerir más memoria.

Retransmisión no idéntica o también llamada “Redundancia Incremental” usa una tasa diferente de transmisión relacionada entre las retransmisiones. Esta solución requiere más memoria en el receptor y ha sido alojada en la capacidad del equipo de usuario (UE). El terminal con parámetros idénticos pero de gran capacidad de memoria puede por otro lado manejar con redundancia incremental la máxima tasa de transmisión de datos. El principio es mostrado en la Figura 3.8. La

función de relación de tasa de transmisión de datos es variada entre diferentes retransmisiones y la codificación de canales implementada puede ser hecha para cada transmisión o los datos pueden ser mantenidos en buffers virtuales (como muestra la Figura 3.6)

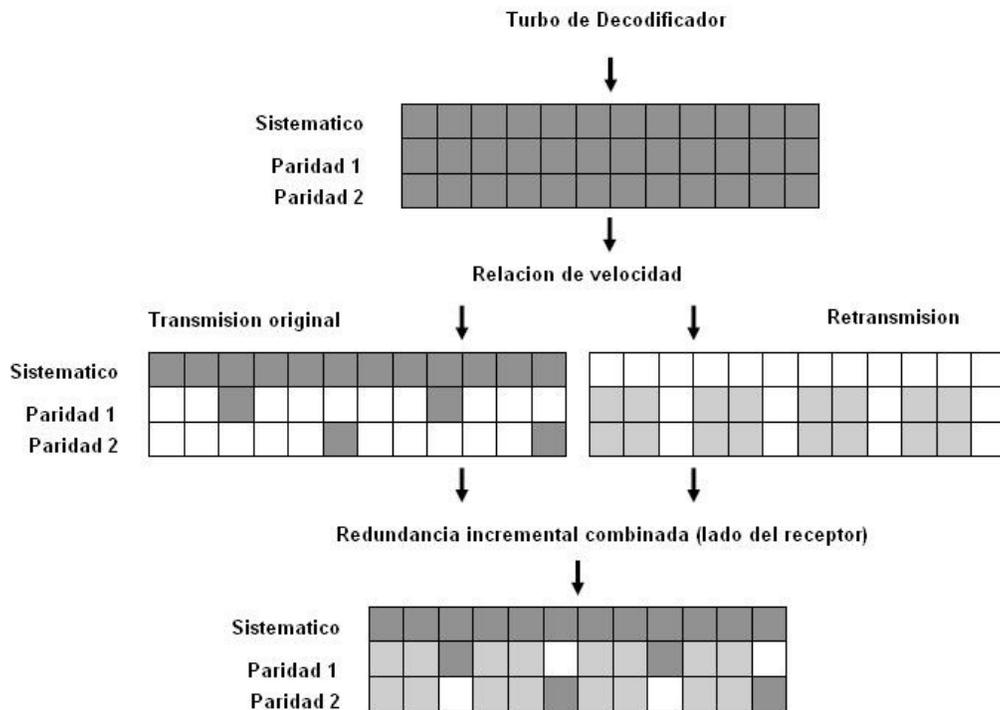


Figura 3.8 Retransmisión no idéntica con el principio HARQ

Sí la retransmisión de capa física falla o excede el número máximo de retransmisiones entonces la capa RLC manejará la retransmisión. Esto pasa generalmente con el cambio de celda servidora HS-DSCH o algunas veces por la pobre cobertura o dado a errores de señalización que podrían llenar los buffers con datos indeseados. El último evento es dado a los errores de chequeo en la señalización, como cobertura en conexión con el HS-SCCH.

La segmentación de canal físico en la Figura 3.5 mapea los datos para los canales físicos intercalados. Cuando dos intercalaciones son usadas estas son

idénticas como en la Edición 99 de intercalaciones en el caso QPSK y 16QAM. Es de notar que como parte de turbo codificación hay separado internamente turbo código intercalado en uso. Detalles de un tercio de tasa de transferencia de turbo código en uso permanecen sin cambio desde la Edición 99, basado en el uso de dos Códigos de Convolucion Concatenado en Paralelo (Parallel Concatenated Convolutional Code, PCCC) con dos elementos constitutivos del estado de ocho codificadores y el turbo código interno “interleaver”.

La codificación de canales HS-DSCH es especificado en la Edición 5.

### 3.2.2.1.2. Modulación HS-DSCH

Mientras el DCH solo usa modulación QPSK, el HS-DSCH puede adicionalmente usar una modulación de orden mayor: 16QAM. Durante el estudio de factibilidad original de HSDPA otras alternativas tales como 8-PSK o 64QAM fueron también discutidas, pero no consideradas de valor para ser adicionados al sistema para el rango de adaptación del enlace que ya estaba disponible con QPSK y 16QAM. Las constelaciones de 16QAM y QPSK son mostradas en la Figura 3.9. Teniendo más puntos de constelación (16 en lugar de 4) ahora 4 bits pueden ser portados por símbolo en lugar de 2 bits por símbolo como es el caso para QPSK.

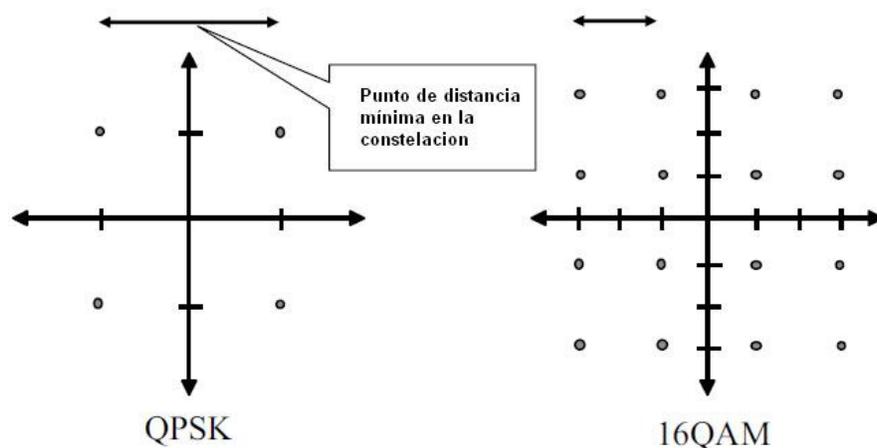


Figura 3.9 Constelaciones QPSK y 16QAM.

Como puede verse en la Figura 3.9, el uso de modulación de alto orden introduce decisión adicional en los límites. Con 16QAM, ya no es suficiente solo tener la fase calculada correctamente; sino también, se hace necesario que la amplitud sea calculada correctamente para obtener la más exacta estimación de fase. Esto explica porque la calidad de la señal necesita ser mejor cuando se está usando 16QAM en lugar de QPSK. En el enlace de bajada, una buena calidad en el Canal Piloto Común (Common Pilot Channel, CPICH) permite la estimación del canal óptimo sin excesivo encabezamiento piloto para un usuario específico.

El CPICH ofrece la información de fase directamente, pero existe la necesidad de estimar la diferencia de potencia entre los niveles que presentan el CPICH y el HS-DSCH para calcular la información de amplitud lo más exacto posible. Esto sugiere que la estación base tiene también cambios de potencia durante los 2 ms de transmisión los cuales deben de ser abolidos.

El HS-DSCH puede usar un número de múlticodigos, con un factor de dispersión de 16. El número teórico máximo de códigos disponibles en un árbol de códigos con tal factor de dispersión es 16, pero como los canales comunes y el canal asociado DCH necesitan de espacio, el número máximo factible es 15. Sí un único terminal puede recibir o no hasta 15 códigos durante el TTI de 2 ms depende de las capacidades del mismo. En el sistema puede haber otro tráfico que puede consumir espacio de códigos (tal como video llamadas) el cual no puede ser mapeado en HSDPA. Así, el manejo de recursos radio determinará la disponibilidad de espacio de código para el programador de eventos de la BTS. En principio, se podría crear más espacio de código (scrambling) secundario, pero como ellos no son ortogonales para códigos debajo de los códigos (scrambling) primarios, la capacidad resultante total no se incrementaría. Así, el uso de otros códigos (scrambling) ha sido restringido para modo comprimido. El espectro HS-DSCH y modulación es especificado en la referencia [1].

### 3.2.2.2. Canal de Control Compartido a Alta Velocidad

El HS-SCCH tiene dos slots de compensación comparado con el HS-DSCH (como muestra en la Figura 3.10). Esto hace posible que HS-SCCH porte información de señalización crítica en el tiempo, lo cual permite al terminal la demodulación correcta de códigos. Un factor de dispersión de 128 permite 40 bits por slot para ser portados (con modulación QPSK).

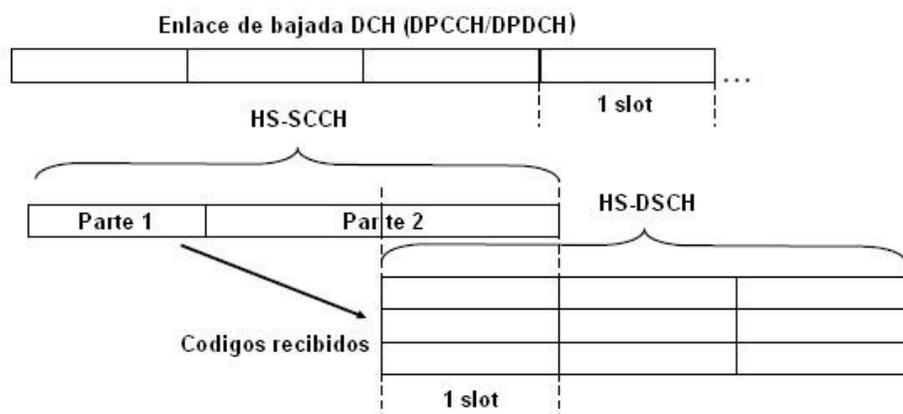


Figura 3.10 Tiempo relativo entre HS-SCCH y HS-DSCH.

No hay pilotos o bits de control de potencia en el HS-SCCH, así, la fase de referencia es siempre la misma como para el HS-DSCH. Como parte de la información necesaria que debe de estar disponible antes de comenzar el uso de HS-DSCH, el HS-SCCH es dividido en dos partes:

- La primera parte contiene la información necesaria para habilitar la decodificación correcta de los códigos y contiene la información de modulación (como se indica en la figura 3.10). Esto permite tener terminales soportando solo 5 o 10 códigos, siempre con un espacio de código permitiendo hasta 15 códigos. Así, con un terminal permitiendo un pequeño número de códigos, los códigos en uso son decodificados desde el HS-SCCH y lo necesario para decodificarlos es limitado para

solo esos códigos. El programador de eventos no excederá los límites establecidos por la capacidad del terminal.

- La segunda parte contiene información menos urgente, tal cual procesos de Requerimiento de Repetición Automática (ARQ, Automatic Repeat reQuest) que están siendo transmitidos. Una indicación sí la transmisión es nueva o, afín. Siempre sí la transmisión previa por un paquete no ha sido recibida correctamente, el nuevo indicador de datos dice al terminal que la vieja transmisión puede ser removida de los buffers. Esto significa (dependiendo del servicio) que ya sea será un nivel de retransmisión RLC (conocido como modo RLC), o esos datos son simplemente descartados y la aplicación espera tener un error de tolerancia (RLC modo sin conocimiento). La información de la versión de redundancia y constelación es también portada en la segunda parte así como el tamaño del bloque de transporte.

El tiempo entre el HS-SCCH y el HS-DSCH permite al terminal tener un slot de tiempo para saber cual código es decodificado y averiguar la modulación. Para los parámetros que aún permanecen, el procesamiento de slot de tiempo ha sido considerado antes que la transmisión sea terminada y un nuevo TTI de 2 ms puede iniciar.

Cuando HSDPA está operando usando el principio de multiplexación de tiempo, entonces solo un HS-SCCH puede ser configurado. En ese caso solo un usuario recibe datos en el tiempo. La Figura 3.11 indica el caso con un único HS-SCCH.

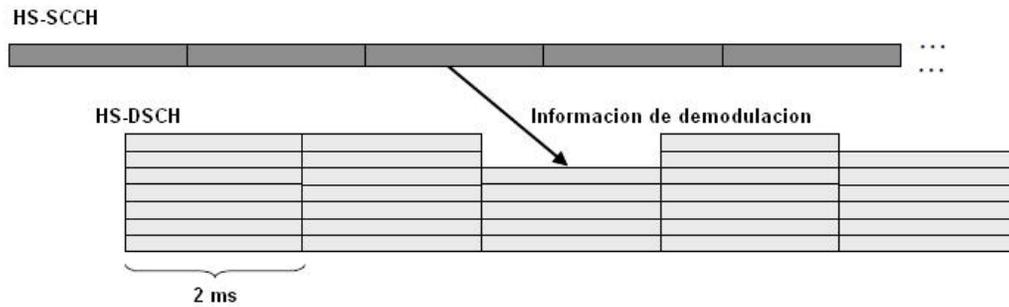


Figura 3.11 Operación en el caso de un único HS-SCCH y multiplexación de tiempo.

Cuando se hace necesario tener multiplexación de código, entonces más de un HS-SCCH necesita ser incluido, como muestra la Figura 3.12. Un único terminal puede considerar más de cuatro HS-SCCHs; el sistema por si mismo podría configurar siempre más. En escenarios prácticos no es común que más de cuatro sean necesarios. Uno de los motivos de multiplexación de código es el caso cuando más de cinco códigos pueden ser dedicados para el uso de HSDPA. El uso de multiplexación de código no es necesaria ya sea cuando la carga es compartida con tráfico DCH, o cuando hay deseo de tener datos de usuarios HSDPA operando con razonable tasa de velocidad en el orden de 384 Kbps o más. En general, la tasa de velocidad disponible para cada usuario en diferentes casos dependerá de la potencia asignada, el ambiente y el tipo de terminal siendo usado.

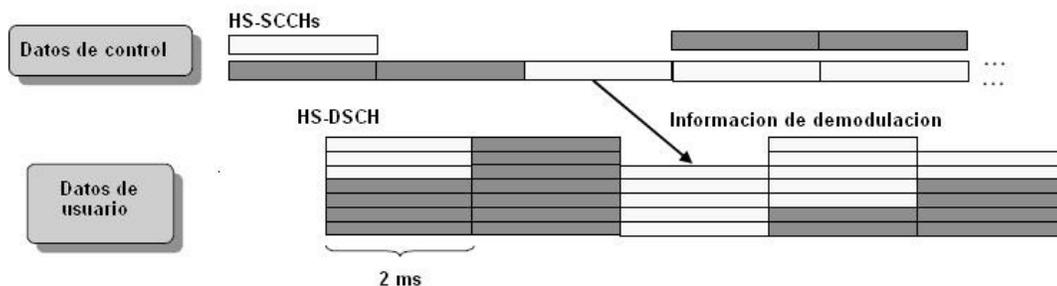


Figura 3.12 Operación en el caso de dos HS-SCCH y multiplexación de código.

El canal codificado es un tercio de código de convolucion (ya que turbo código no es sensible con tan pequeño monto de información). En la segunda parte hay una Revisión de Redundancia Cíclica (Cyclic Redundancy Check, CRC) para asegurar que no hay corrupción de la información. Con un error de señalización un número de procesos HARQ podrían causar problemas tales como la posible corrupción de buffers, así, un CRC de 16 bits es usado para asegurar suficiente fiabilidad. Para la primera parte no hay CRC y el resto adicional es separado en múltiples HS-SCCH lo cual es deseado para el UE en cuestión. Esto posibilita a un terminal en específico enmascarar la operación, la cual permite detectar el HS-SCCH que es deseado para el terminal en cuestión mientras aun mantiene información crítica en el tiempo en forma compacta en un slot.

### **3.2.2.3. Canal de Control Físico Dedicado a Alta Velocidad**

La operación de HSDPA necesita de enlace de subida de capa física para retroalimentación de información desde el terminal hacia la estación base para posibilitar la adaptación del enlace y la retransmisión de capa física. La señalización es provista en un canal de código paralelo, dejando la operación de DCH sin cambio; esto permite la operación de soft handover en el caso de cuando todas las BTSs en el set activo no han sido actualizadas para soportar HSDPA. Esto es factible, dado que solo la celda HS-DSCH servidora enviará los canales HS-SCCH y HS-DSCH, respectivamente, y solo esta necesita decodificar el enlace de subida de retroalimentación. Para mantener el enlace de subida DPCCH y DPDCH sin cambio, el set activo puede también alojar estaciones base basadas en Edición 99. Obviamente, cuando una BTS llega a ser dominante debe de conmutar para el DCH. La penalidad resultante por agregar un canal de código paralelo es el incremento de la Razón Pico Promedio (Peak-to-Average Ratio, PAR) de la forma de onda de la señal de enlace de subida, lo cual resulta en baja transmisión de potencia total en ciertos casos.

El HS-DPCCH usa un factor de dispersión fijo de 256 y tiene una estructura de 2 ms/tres-slots. El primer slot es usado para la información de HARQ (como se muestra en la Figura 3.13). Los dos slots que aún se mantienen son para uso de Información de Calidad de Canal (Channel Quality Information, CQI). La información de HARQ es siempre enviada cuando ha sido correctamente decodificado el HS-SCCH recibido en la dirección del enlace de bajada mientras la frecuencia de transmisión CQI es controlada por el parámetro "K" del sistema. Para ambos slots hay también un parámetro separado para el control de repeticiones. Repetición sobre múltiples periodos de 2 ms son necesarios en algunos casos como por ejemplo, para operación de celda mejorada cuando la potencia disponible podría no asegurar la calidad suficiente para retroalimentación de recepción. El control de potencia desde las celdas no servidoras HSDPA puede también reducir el nivel de potencia recibida HS-DPCCH en la región de soft handover.

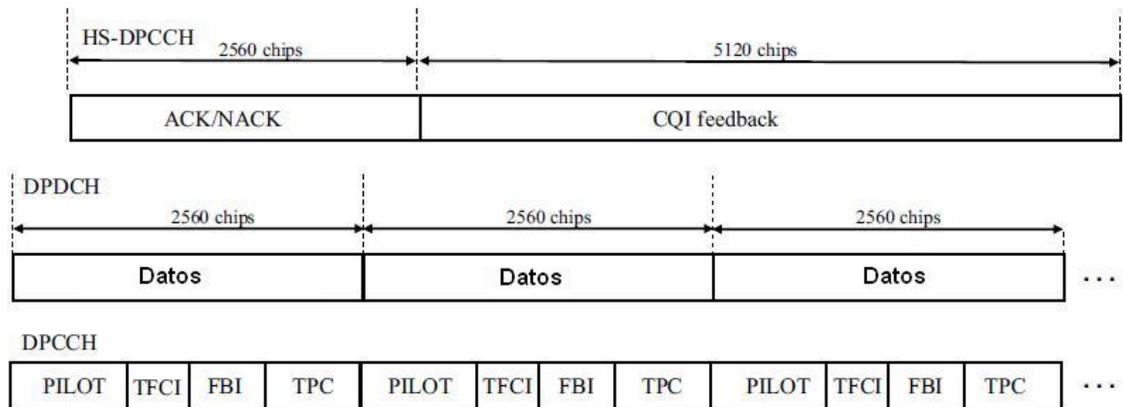


Figura 3.13 Estructura de HS-DPCCH

El HS-DPCCH es solo símbolo alineado con DPCCH/DPDCH. Esto fue considerado necesario para evitar variaciones muy grandes en el tiempo entre terminal y Nodo B, el proceso es dimensionado para el caso de mayor demanda. EL tiempo relativo es mostrado en la Figura 3.13. El tiempo de enlace de bajada HS-SCCH/HS-DSCH determinará la transmisión HS-DPCCH instantánea.

La operación de HS-DPCCH ha sido desarrollada en la Edición 6 para mejorar la operación de la celda. Cuando el HS-SCCH ha sido recibido, el terminal enviará una secuencia en lugar de la señalización ACK/NACK en el marco (frame) HS-PDCCH previo de 2 ms, a menos que haya tenido un paquete en el TTI previo. Haciendo esto causará que el terminal no solo transmita más a menudo, sino también permite a la BTS receptora tener mayor prioridad de conocimiento como sí ACK o NACK fueran transmitidos. Así, para evitar la transmisión de “no transmisión” (a menudo denotado como “DTX”) no hay necesidad de elegir entre tres valores solo entre ACK y NACK. El beneficio más grande es cuando hay un flujo continuo de paquetes, pero siempre en el caso de paquetes no frecuentes hay un reducido pico de requerimientos de potencia. Así, el factor de ganancia establecido por el HS-DPCCH no hace necesario el uso de valores altos, y la potencia de transmisión consumida por la operación de DPCCH/DPDCH es reducida.

El código para el HARQ es simple. En la Edición 5 hay ya sea una secuencia de “1s” enviada para el ACK y “0s” para el NACK. En la Edición 6 ACK/NACK se mantienen sin cambios.

Para CQI, código (20.5) es aplicado, el cual porta información CQI desde el terminal hacia la estación base. El valor CQI que el terminal reporta no solo corresponde al  $E_c/N_0$  o a la Razón de Interferencia a Señal (Signal to Interference Ratio, SIR) que el terminal está experimentando. En su lugar, el valor reportado está en función del ambiente, tipo de terminal receptor, razón de interferencia de la propia estación base comparada con otras y potencia BTS HSDPA disponible.

El beneficio claro de este enfoque se basa en que la solución se define automáticamente cabida en las distintas aplicaciones y variaciones del medio ambiente receptor, por tanto, da una indicación de la mejor tasa de transmisión de datos necesarios para el terminal para hacer frente al medio ambiente en cuestión. Esto elimina la necesidad de la red a tener en cuenta, por ejemplo el retraso del perfil de características de la celda/sector en cuestión. El valor de potencia de

entrada de la red es la asignada HS-DSCH, el terminal puede asumir ser usado en la red. Debido a este cambio, la red puede fácilmente compensar a este terminal asumiendo que es conocido por la estación base. El reporte CQI es mostrado en la Figura 3.14, mostrando que cuando el terminal esta cerca de la estación base y asumiendo una asignación de potencia alta HS-DSCH (basado en el valor dado por la red), un valor alto de CQI es reportado. Respectivamente, cuando el terminal esta cerca del borde de la celda (lo más bajo de la curva) entonces el CQI reportado es mucho menor, especialmente sí la potencia HSDPA asignada por el Nodo B es baja. Cuando se encuentra cerca del borde de la celda, mucha de la interferencia viene desde otras celdas, así, el valor geométrico representativo es bajo (alrededor de 0 dB) o en algunos caso el valor es negativo.

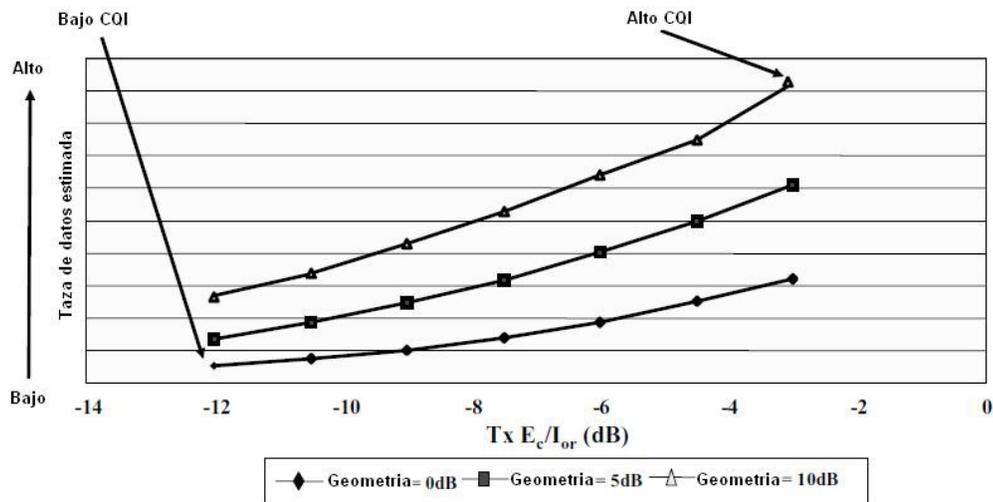


Figura 3.14 Ejemplo de curvas CQI para diferentes valores de geometría.

### 3.2.2.3.1. Fraccional DPCH

Para la Edición 6, toma lugar una optimización para la situación donde solo servicio de paquetes está activo en el enlace de bajada. En tal caso, especialmente con baja tasa de transmisión de datos, es percibido que el enlace de bajada DCH introduce sobre encabezamiento (overhead) y puede también consumir demasiado

espacio de código sí se encuentra un gran número de usuarios usando una baja tasa de transmisión de servicio como VoIP. La solución en tal caso es el uso del Canal Físico Dedicado Fraccional (Fractional Dedicated Physical Channel, F-DPCH), el cual es básicamente una versión de franja de bajada (stripped-down) del Canal Físico Dedicado (Dedicated Physical Channel, DPCH) que maneja el control de potencia. Comparando el F-DPCH con la Edición 99 DPCH, solo el campo de Transmisión de Control de Potencia (Transmission Power Control, TPC) es mantenido (como se muestra en la Figura 3.15).

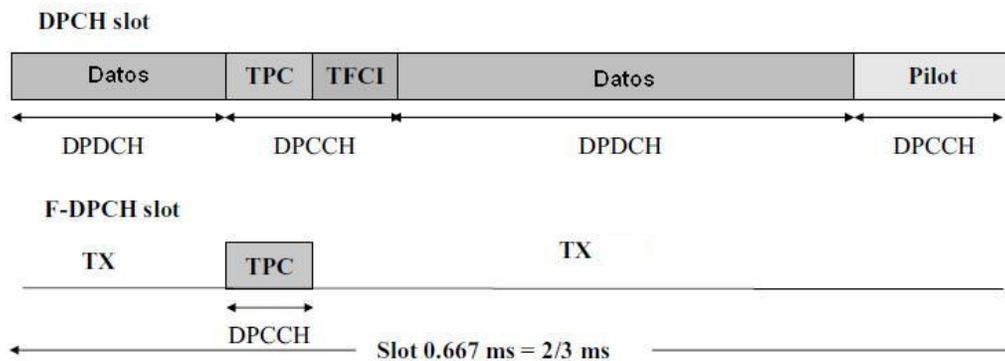


Figura 3.15 Estructura de slot comparado con la estructura DPCH.

El código de recursos es compartido en el tiempo, así muchos usuarios pueden compartir el mismo espacio de código para la información de control de potencia. Cada usuario ve solo el canal, el cual tiene un símbolo por slot para la transmisión de información de TPC y asume que no hay transmisión en el resto de los símbolos. Con muchos usuarios, la red configura a cada usuario teniendo el mismo código pero diferente marco (frame) de tiempo, así, usuarios pueden ser transmitidos en un único código fuente. Hasta diez usuarios pueden compartir un código SF 256, así reduce la utilización de espacio de código para la asociación DCH por usuarios con todos los servicios mapeados para el HS-DSCH. El principio es como se muestra en la Figura 3.16, donde dos usuarios comparten el mismo espacio de código en la dirección del enlace de bajada. El enlace de subida DCH no es impactado. En este

caso el SRB<sup>21</sup> debe de estar sobre el HS-DSCH ya que no hay espacio para bits de datos (no DPDCH) sobre el F-DPCH.

El F-DPCH tiene algunas restricciones de uso. Obviamente no es utilizable con servicios que requieren datos a ser mapeados por el DCH, tal como llamadas de voz AMR y video CS. La deficiencia de información piloto significa que un método parecido a diversidad de transmisión basado en retroalimentación (modo de lazo cerrado) no es utilizable. El uso de diversidad de lazo cerrado está basado en la modificación de fase para un usuario específico, donde símbolos piloto podrían ser necesarios para verificación de la rotación de fase aplicada. Por otro lado, utilizando el F-DPCH, los SRBs pueden beneficiarse de la alta tasa de transferencia de datos de HSDPA y de su reducido tiempo de establecimiento.

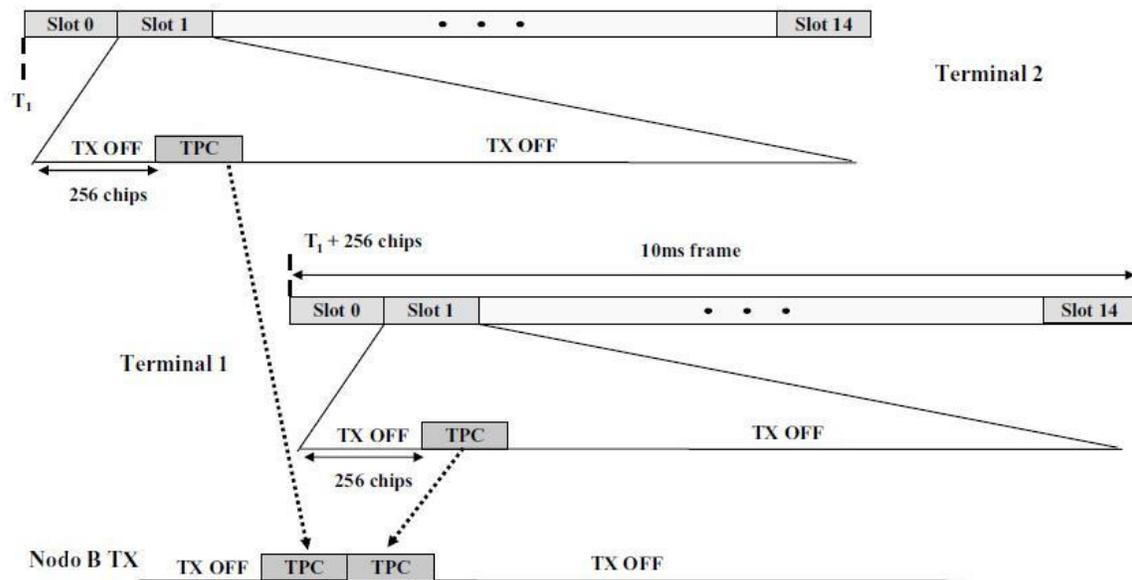


Figura 3.16 Principio del fraccional DPCH para transmisión en Nodo B.

Como los SRBs son mapeados por el HS-DSCH usando el F-DPCH, la calidad de enlace desde la celda servidora HS-DSCH es más crítica. Para asegurar que se

<sup>21</sup> Portadora de Señalización Radio (Signalling Radio Bearer, SRB)

tiene el criterio apropiado para la detección de fallas en el enlace radio, el comportamiento del terminal para el establecimiento de los comandos de control de potencia de enlace de bajada en el enlace de subida DPCCH fueron modificados para que el F-DPCH pueda ser detectado desde la celda servidora HS-DSCH. Así, una falla de enlace radio es detectada en el terminal solo desde el F-DPCH de la celda servidora HS-DSCH, y no desde el soft combinado DPCCH como en la Edición 99.

#### **3.2.2.4. Adaptación del enlace HS-DSCH**

La adaptación de enlace es dinámica ya que opera con 2 ms de granularidad<sup>22</sup> con HS-DSCH. En adición a la decisión del programador de eventos, la MAC-hs (MAC High Speed) en la BTS también decidirá cada 2 ms cual código y modulación de combinación serán transmitidos. La adaptación de enlace está basada en capa física CQI siendo provista por el terminal.

Usando adaptación del enlace, la red se beneficia de la limitación de control de potencia dinámica en el enlace de bajada. Dado que las señales en el enlace de bajada no pueden usar por mucho tiempo un rango dinámico para evitar el problema cercanía/lejanía entre señales de la misma fuente, el control de potencia de enlace de bajada es mucho más limitado. Mientras que en el enlace de subida es usado un rango dinámico de 71 dB o mayor, en el enlace de bajada solo alrededor de 10 a 15 dBs pueden ser utilizados. El número exacto depende de la aplicación, entorno del canal y el factor de dispersión aplicado. Esto significa que para usuarios cerca de la estación base el nivel de potencia transmitida es más alta de la necesaria para lograr la detección de señal. La adaptación del enlace toma este margen extra para usarlo por los parámetros de selección de transmisión en tal sentido que la energía de símbolo requerido corresponde exactamente a la potencia de símbolo disponible. Esto es mostrado en la Figura 3.17, donde puede verse la adaptación del enlace como una función de la razón de Interferencia a Portada (C/I).

---

<sup>22</sup> Es el nivel de detalle al cual se identifican los componentes de una estructura.

La adaptación del enlace está basada en la información CQI que también toma otros aspectos comparado con la potencia de la señal o C/I. Solo cambiando de QPSK a 16QAM hay una diferencia de unos pocos decibels (dependiendo del ambiente) y jugando con la tasa de codificación y el número de códigos el rango dinámico total puede alcanzar los 30 dB.

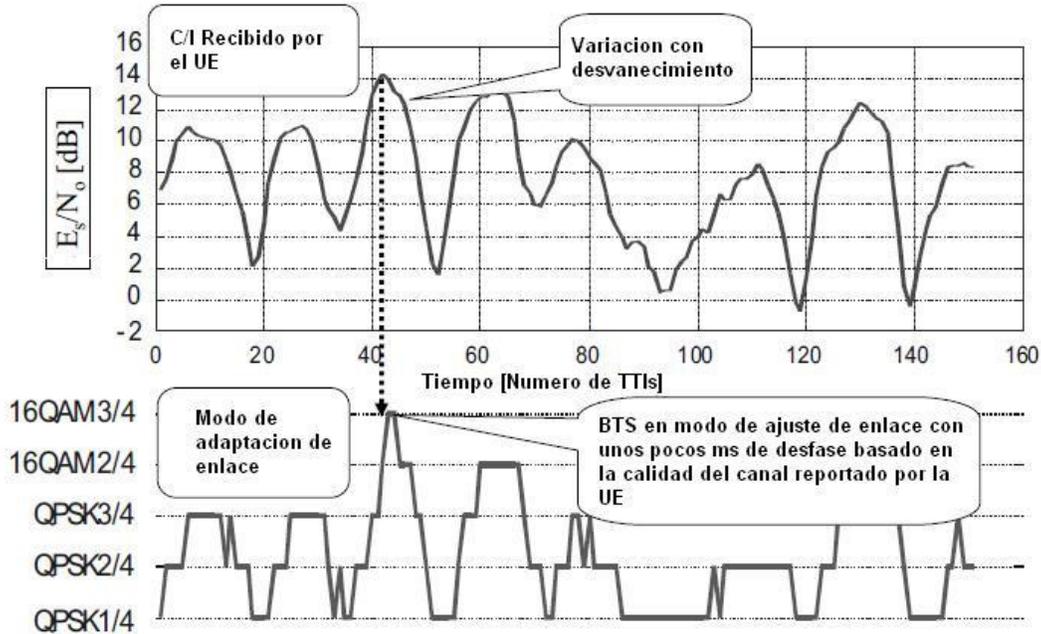


Figura 3.17 Adaptación de enlace.

La capacidad del terminal impacta sobre todos los servicios, especialmente en las primeras fases, ya que este no soportará necesariamente todas las configuraciones de la red, por ejemplo, modulación 16QAM o más de cinco códigos paralelos. Cuando se excede el rango de tasa de datos que el terminal puede soportar, este reportará solo un fuera de rango (offset) indicando que el punto más alto de código/modulación que puede soportar ha sido alcanzado. La tabla CQI eventualmente contiene una combinación de espacio de modulación, número de códigos, codificación y tamaño de bloque de transporte. Una pequeña simplificación CQI es mostrada en la tabla de la Figura 3.18 representando diferentes

capacidades de terminales. La tabla de más a la derecha en la Figura 3.18 es para terminales categoría 11 y 12 (solo QPSK), así, después de cinco códigos solo una tasa de velocidad fuera de rango de 1.8 Mbps para la situación es señalada. Respectivamente, la tabla CQI para categoría 7 (7.2 Mbps) sigue todo la trayectoria hasta diez códigos (con 16QAM) antes de usar el fuera de rango. Para todas las otras categorías el fuera de rango es usado después de algún punto, excepto categoría 10 la cual va por todo la trayectoria hasta 14.4 Mbps y así no necesita un fuera de rango en lo más alto del mismo. El parámetro inter-TTI en las capacidades del terminal no tiene un impacto en la tabla CQI, solo el numero de códigos y soporte de modulación hacen la diferencia. La excepción es 14.4 Mbps donde la única diferencia es el tamaño del máximo bloque de transporte comparado con un terminal de capacidad de 10 Mbps.

16QAM, terminales con con 10 codigos

Valor CQI	Tamaño de bloque de transporte	Numero de codigos HS-PDSCH	Modulación	Modificación de potencia de referencia
0	N/A	N/A		
1	137	1	QPSK	0
2	173	1	QPSK	0
⋮				
14	2583	4	QPSK	0
15	3319	5	QPSK	0
16	3565	5	16QAM	0
⋮				
24	11418	8	16QAM	0
25	14411	10	16QAM	0
26	14411	10	16QAM	-1
27	14411	10	16QAM	-2
28	14411	10	16QAM	-3
29	14411	10	16QAM	-4
30	14411	10	16QAM	-5

QPSK, terminales con 5 codigos

Valor CQI	Tamaño de bloque de transporte	Numero de codigos HS-PDSCH	Modulación	Modificación de potencia de referencia
0	N/A	N/A		
1	137	1	QPSK	0
2	173	1	QPSK	0
3	233	1	QPSK	0
⋮				
14	2583	4	QPSK	0
15	3319	5	QPSK	0
16	3319	5	QPSK	-1
17	3319	5	QPSK	-2
18	3319	5	QPSK	-3
⋮				
29	3319	5	QPSK	-14
30	3319	5	QPSK	-15

Figura 3.18 Tablas CQI de ejemplos para categorías 7/8 y 11/12

### 3.2.3. Procedimiento de Operación de Capa Física HSDPA

La operación de capa física HSDPA va a través de los siguientes pasos, una vez uno o más usuarios han sido configurados para el uso de HS-DSCH y los datos comienzan a cargar el buffer en el Nodo B.

- El programador en el Nodo B evalúa cada 2 ms a cada usuario con datos en el buffer: la condición del canal, estado del buffer, tiempo desde la última transmisión, retransmisiones pendientes. El criterio exacto es naturalmente específico de la aplicación del vendedor y no parte de las especificaciones de 3GPP.
- Una vez el terminal ha sido determinado como servido en un TTI particular, el Nodo B identifica los parámetros HS-DSCH necesarios, incluyendo número de códigos, 16QAM utilizable y limitaciones de capacidad del terminal.
- El Nodo B comienza la transmisión de dos slots HS-SCCH antes del correspondiente HS-DSCH TTI. La sección HS-SCCH está libre (desde un set de más de cuatro canales) asumiendo que no habían datos para el terminal en el marco (frame) HS-SCCH previo. Habiendo datos en el marco previo, entonces el mismo HS-SCCH es usado.
- Una vez el terminal tiene decodificado la Parte 1 del HS-SCCH de propósito del terminal, comenzará a decodificar las partes restantes de ese HS-SCCH y almacenará en buffer los códigos necesarios desde el HS-DSCH.
- Después de decodificar el parámetro HS-SCCH, el terminal puede determinar a cual proceso ARQ pertenecen los datos y si ellos necesitan ser combinados con los datos que ya se encuentran en el soft buffer.
- Sobre la decodificación de la combinación potencial de datos, el terminal envía en la dirección del enlace de subida un indicador ACK/NACK, dependiendo del resultado de la CRC guiada en los datos HS-DSCH (un ACK sigue el correcto resultado CRC).

- Sí la red continua la transmisión de datos para el mismo terminal en TTIs consecutivos, el terminal estará en el mismo HS-SCCH que fue usado durante los TTI previos.
- En la Edición 6, cuando el flujo de datos termina, el terminal envía una señal en el campo ACK/NACK.

La operación de HSDPA es síncrona en términos de la respuesta del terminal para un paquete transmitido en el enlace de bajada. Del lado de la red, sin embargo, es asíncrona en términos de cuando un paquete o una retransmisión para una transmisión temprana es enviada. Esto permite libertad al programador de eventos implementado por la BTS y es habilitado por el proceso de información ARQ en el HS-SCCH. El procedimiento de operación de capa física por HSDPA es cubierto en la referencia [1].

La operación de tiempos del terminal entre diferentes eventos son especificados exactamente desde la recepción del HS-SCCH, seguido por decodificación HS-DSCH y terminando con la transmisión del enlace de subida ACK/NACK. Como se indica en la Figura 3.19, hay una reacción de tiempo de 7.5 slot desde el final del TTI HS-DSCH hacia el inicio de la transmisión ACK/NACK en el HS-DPCCH en el enlace de subida. El valor de 7.5 slots es exacto (alguna variación es dado a la necesidad de alineación de símbolo entre el enlace de subida HS-DPCCH y el enlace de subida DPCCH/DPDCH).

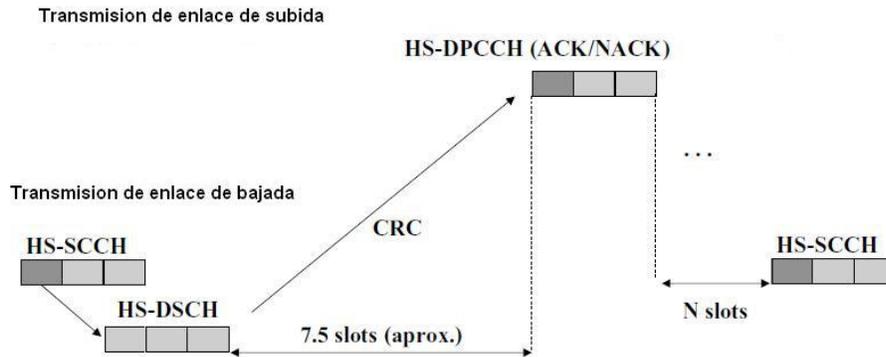


Figura 3.19 Tiempo del terminal con respecto a un proceso HARQ.

### 3.2.4. Movilidad

Comparado con el DCH la gran diferencia en el manejo de la movilidad es la deficiencia de soft handover por el HS-DSCH. Mientras solo hay una celda HS-DSCH servidora, el DCH asociado puede estar en soft handover y mantener el set activo como en la Edición 99. Los requerimientos para el terminal están disponibles para poder hacer frente hasta a seis celdas con el set DCH activo. Operando en soft handover con HSDPA en uso, hay necesidad de modificación en la medida de eventos para conseguir información acerca de cambios en la potencia relativa de las celdas en el set activo (como se muestra en la Figura 3.20). Esta información no necesita acción de disparo para el DCH pero puede motivar a un cambio en la celda servidora HS-DSCH con la operación HSDPA. Para habilitar esta información que estará disponible para la RNC, la medida de eventos fue modificada para posibilitar eventos basados en reportes cuando la potencia relativa de la celda en el set activo cambia. Cuando el criterio para reportes está lleno, el terminal enviará como parte del control de recursos radio de enlace de subida (Radio Resource Control, RRC) en señalización un reporte de medidas a la RNC.

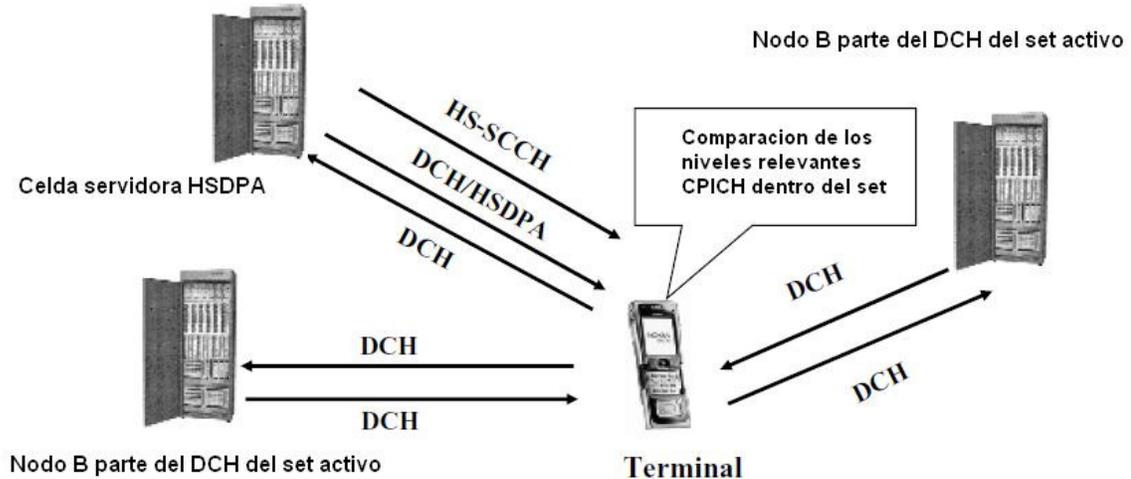


Figura 3.20 Operación HSDPA con DCH del set activo.

En la Edición 5 la celda servidora HS-DSCH puede solo ser cambiada dentro del set activo del terminal usando un proceso de reconfiguración de canal físico. Por lo tanto, cuando un terminal detecta que una celda vecina reúne todos los criterios para ser agregada al set activo, la celda primero necesita ser agregada al set activo antes que pueda ser movida la operación de servicio HS-DSCH para esa celda. En la Edición 6 la situación fue cambiada para que el procedimiento pudiera también portar un cambio de celda servidora HS-DSCH (como muestra la Figura 3.21).

Cuando un cambio de celda servidora HS-DSCH ocurre, el terminal limpia todos los buffers en el momento del handover y se mueve a escuchar a la nueva estación base para saber cómo instruye en la señalización del enlace de bajada RRC. Respectivamente, en el momento que el handover toma lugar el Nodo B también limpia los paquetes que aun se encuentran en los buffers, incluyendo procesos HARQ que aun no han finalizado. La red tendrá que clasificar los paquetes no enviados (cuando se esté usando modo de reconocimiento). En modo sin reconocimiento los paquetes no serán transmitidos si alguno de ellos es perdido durante la operación de cambio de celda, pero la pérdida de paquetes puede ser

minimizada por la RNC calculando cuidadosamente cuando el handover tomará lugar y no enviar en el último momento paquetes para la celda HS-DSCH siendo reemplazada. Durante la sincronización del cambio de celda servidora HS-DSCH, interrupción en la transmisión de paquetes puede ser minimizada dado que el terminal y los elementos de red conocen exactamente el momento en el cual el handover tomará lugar. Para minimizar la posible pérdida de datos, el apoyo de unidades de carga de datos fuera de secuencia (Payload Data Units, PDUs) fue introducida en modo no reconocido RLC en la Edición 6, permitiendo a la UTRAN el uso de bi-casting durante el cambio de celda servidora HS-DSCH, el cual asegura que los paquetes potencialmente perdidos estén disponibles para ser dirigidos al Nodo B.

EL HS-DSCH soporta el uso de modo comprimido para medidas en el terminal inter-sistema e inter-frecuencia. A pesar que el HS-DSCH en sí mismo no implementa ningún modo comprimido, la transmisión de datos y el control de señalización son mantenidos (como se muestra en la Figura 3.22) donde hay un hueco en el enlace de bajada que superpone alguna parte de la transmisión de HS-SCCH o HS-DSCH. En tal caso el terminal ignora la transmisión completa.

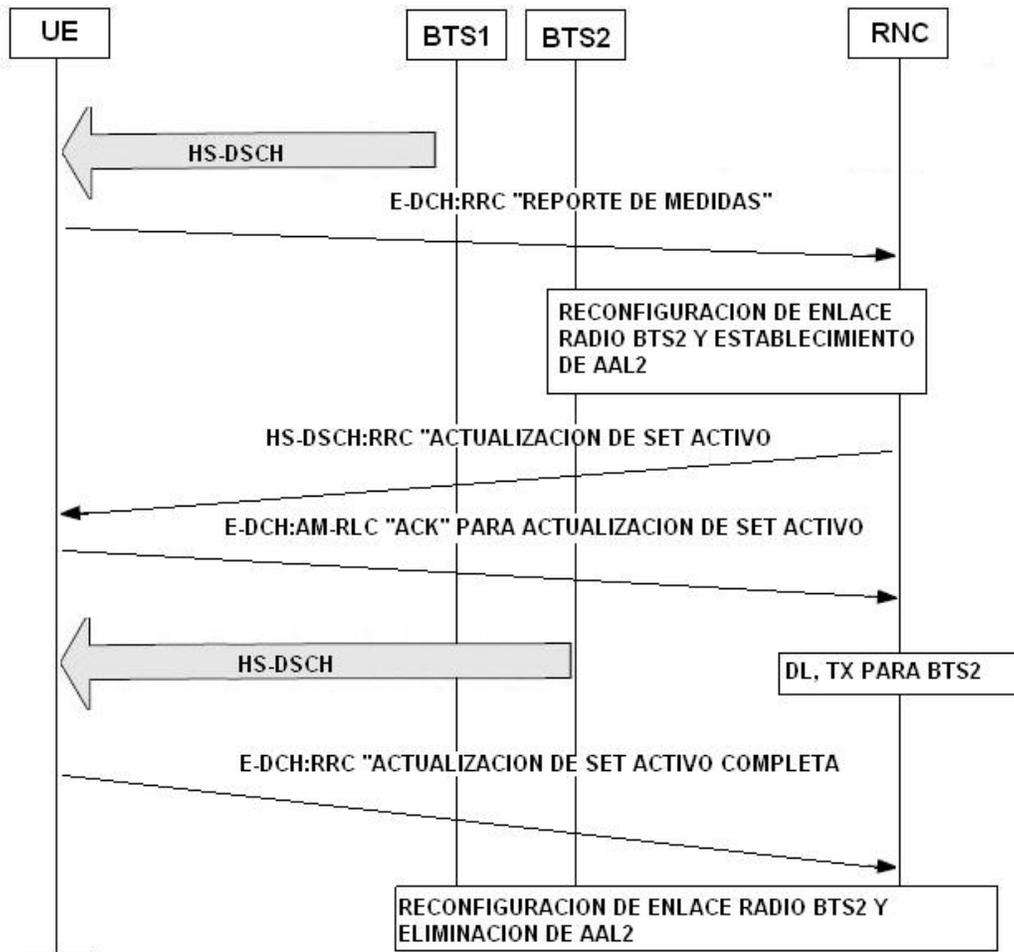


Figura 3.21 Celda servidora HS-DSCH cambia por proceso de actualización de set activo.

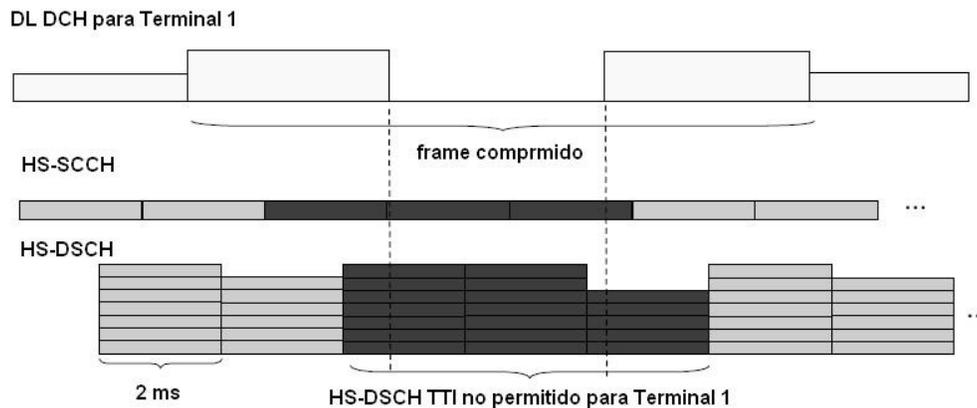


Figura 3.22 Operación HSDPA con modo comprimido.

Respectivamente, señalización en el enlace de subida no tomará lugar cuando hay un programador de eventos en el enlace. Como ambos modos el comprimido y el de programador de eventos son asignados en el nodo B, es posible combinar la información. Una alternativa es el uso de transmisión DCH para los datos mientras se tiene activo el modo comprimido. Cuando es parametrizado correctamente, el modo comprimido no se espera sea usado en ningún caso cercano a la estación base, pero si cuando la cobertura WCDMA es pobre o cuando la capa de la celda HSDPA (por ejemplo, en la capa de micro celda) necesita cambios entrando al área de cobertura de la micro celda. Cambiando a GSM causa una caída en la tasa de velocidad de usuario, la diferencia depende de la capacidad de la red GSM. La disponibilidad de tasa de transferencia de datos varía teóricamente hasta 384 kbps dependiendo si hay solo un servicio básico GPRS disponible o si EDGE es también soportado. La condición del canal y el número de slots soportados es el terminal multi modo limita la tasa de velocidad de transferencia de datos practica hasta alrededor de 200 o 300 kbps.

Para el handover hacia/desde la red GSM, las especificaciones de la Edición 6 contienen soporte para el handover de paquetes. Esto permite reducir el tiempo de handover a un nivel similar a la Edición 99 basado en handovers de llamadas de voz, donde el usuario final en una red propiamente parametrizada no detecta el

cambio de sistema. En la Edición 5 hay cambio de celda asistida por red cuando cambia a GSM para acelerar el proceso, mientras en la Edición 99 basada en red solo re-selección de celda desde WCDMA es disponible para GSM.

### 3.2.5. Parámetros IUb

La operación de HSDPA necesita de un alto número de parámetros que tienen que ser alineados entre el terminal y el Nodo B. Estos son proveídos (como se muestra en la Figura 3.23) por el Nodo B desde la RNC basado en algoritmos propios de cada vendedor y en las capacidades de señalización del terminal.

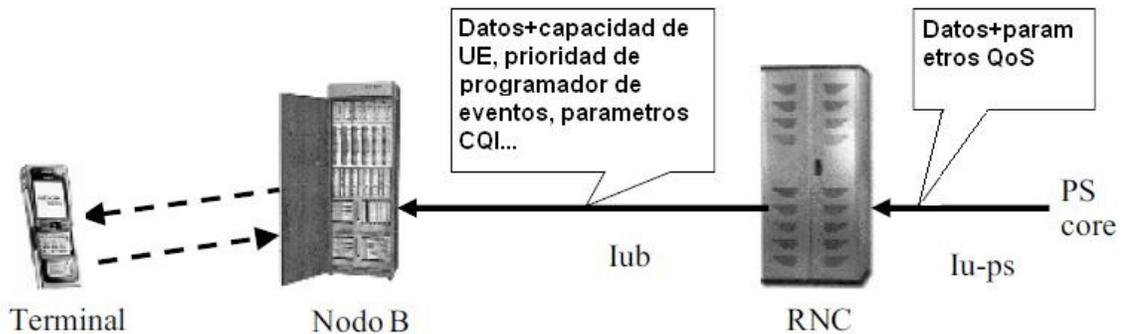


Figura 3.23 Parámetros HSDPA sobre la interface Iub.

Los parámetros pueden ser divididos en las siguientes categorías:

- Asignación de Recursos, Parámetros para el Nodo B, indica por ejemplo, cual HS-SCCH es usado y cual código está disponible para el HS-DSCH al igual que tanta potencia es usada para HSDPA.
- Parámetros del Programador, para controlar el comportamiento del programador de eventos parecido a un indicador de programa de prioridades o garantizadora de tasa de bit.
- Parámetros Específicos del Terminal, tal como capacidades del terminal y parámetros específicos para HSDPA.

El Nodo B necesita ser consciente de las capacidades del terminal. Esto significa tomar en cuenta las limitaciones en términos de número de códigos soportados y modulación al igual que la restricción del potencial inter-TTI. Hay necesidad por el uso de un establecimiento de códigos HS-SCCH, diferentes terminales podrían monitorear parcialmente diferentes sets de HS-SCCH.

El control del programador de eventos permite el manejo de calidad de servicio (QoS) en la programación de eventos del Nodo B. Diferentes indicadores de prioridad del programador de eventos pueden ser usados por usuario y por servicio. Por ejemplo, el servicio de Voz sobre IP (VoIP) puede tener un programador de eventos de prioridad más alto que un servicio de datos convencional sin tomar en cuenta si estos servicios son para el mismo usuario o no. Además, el programador de eventos para el manejo del buffer puede ser controlado por un temporizador que indica el tiempo máximo que los paquetes deben ser mantenidos en el buffer y cuantos deben de ser descartados después que el tiempo de almacenado ha expirado.

### **3.2.6. Operación de capa MAC HSDPA**

La capa MAC HSDPA tiene como clave funcional la programación de eventos en la BTS y el manejo del proceso HARQ entre el terminal y la BTS. Las especificaciones no contienen detalles para la operación de la programación ya que esta es propia de cada vendedor de dispositivos.

Al terminal le es dado también algunos parámetros de la capa MAC. Dado que los paquetes no llegan en secuencia después de la operación HSDPA HARQ, la capa MAC del terminal tiene que poder con el reordenamiento de los paquetes como parte de la operación de la capa MAC. Para este propósito, al terminal le es dado un parámetro que vuelve a pedir la edición de paquetes. Si el temporizador expira, el terminal da los paquetes a la capa superior (RLC en este caso) siempre si hay paquetes perdidos en la secuencia. Esto es necesario para evitar retraso en el proceso si algún paquete termina no siendo satisfactoriamente entregado por la

operación de capa física. Dependiendo de la configuración de RLC, una retransmisión puede ocurrir en la capa RLC.

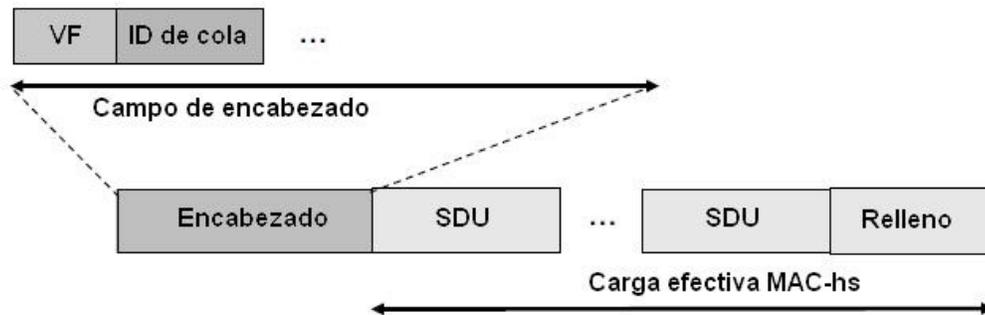


Figura 3.24 PDU MAC-hs

Los datos enviados en el HS-DSCH también tienen un encabezado de capa MAC (como muestra la Figura 3.24). La MAC-hs PDU consiste del encabezado y carga efectiva MAC-hs. La carga efectiva consiste de uno o más Unidades de Servicio de Datos MAC-hs (Units Data Service, SDUs) y potencial relleno si los datos no completan el tamaño disponible.

En la capa MAC pueden ser multiplexados diferentes servicios juntos dentro de un único canal de transporte. Esto requiere que los servicios tengan características similares de QoS, no es posible por el programador de eventos de la BTS separarlos para diferentes usos. En este caso la multiplexación toma lugar en la RNC en MAC-d (como muestra la Figura 3.25) esto es hecho por la multiplexación de muchos canales lógicos dentro de un único flujo MAC-d. En este caso un encabezado Mac-d separado es agregado; por otro lado, no hay necesidad de tener un encabezado MAC-d con HSDPA y, así, ninguna operación toma lugar en MAC-d.

Hay dos canales lógicos relevantes para la operación de HSDPA. Estos canales son mapeados en la capa MAC para canales de transporte y además en la capa física para canales físicos. El Canal de Trafico Dedicado (Dedicated Traffic Channel, DTCH) porta los datos de usuario, mientras que el Canal de Control Dedicado

(Dedicated Control Channel, DCCH) porta la información de control, parecido a señalización RRC. El DCCH no puede ser mapeado por el flujo MAC-d en la Edición 5, pero en la Edición 6 la funcionalidad adicional es definida para asegurar el comportamiento apropiado del terminal solo en caso de que la conexión para la celda HS-DSCH servidora sea perdida.

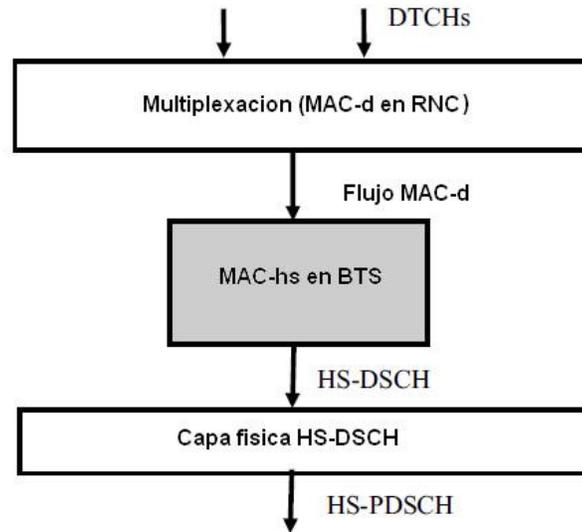


Figura 3.25 Multiplexación de canales lógicos dentro de un único flujo MAC-d

### 3.3. Principios de HSUPA

#### 3.3.1. HSUPA contra Edición 99 DCH

El trabajo de especificaciones de HSUPA inicio después de la exitosa finalización de la primera edición de las especificaciones HSDPA por 3GPP Edición 5 a mediados de 2002. HSDPA ha mejorado las capacidades del enlace de bajada pero las capacidades del enlace de subida no estaban acorde con el enlace de bajada de HSDPA. Así, fue iniciado el trabajo para el mejoramiento del enlace de subida desarrollado en 3GPP. La elección obvia fue investigar las técnicas usadas en HSDPA y, sí fuera posible, adoptarlas por el enlace de subida. El concepto de HSUPA nació y en el lapso de pocos años se materializo dentro de las especificaciones.

HSUPA no es un concepto aislado, usa muchas de las características básicas de WCDMA Edición 99. Selección de celda y sincronización, acceso aleatorio, procedimiento básico de movilidad, etc... son necesarios y se mantienen sin cambio con la operación HSUPA. El único cambio es un nuevo sentido de entrega de los datos de usuario desde el equipo de usuario (UE) hacia el Nodo B, todas las demás partes de las especificaciones se mantienen sin cambio alguno. Por ejemplo, el control de potencia básica para funciones de lazo en la Edición 99 es esencial para la operación HSUPA.

HSUPA provee un camino flexible más allá de los 384 kbps de enlace de subida la cual puede ser vista como el máximo real para WCDMA antes de HSUPA. Una tecnología similar a HSDPA estaba siendo usada para introducir el rápido enlace de subida ARQ-híbrido (Hybrid-ARQ. HARQ), Nodo B basado en programador de eventos de enlace de subida (como se muestra en la Figura 3.26) y fácil transmisión de multicódigo.

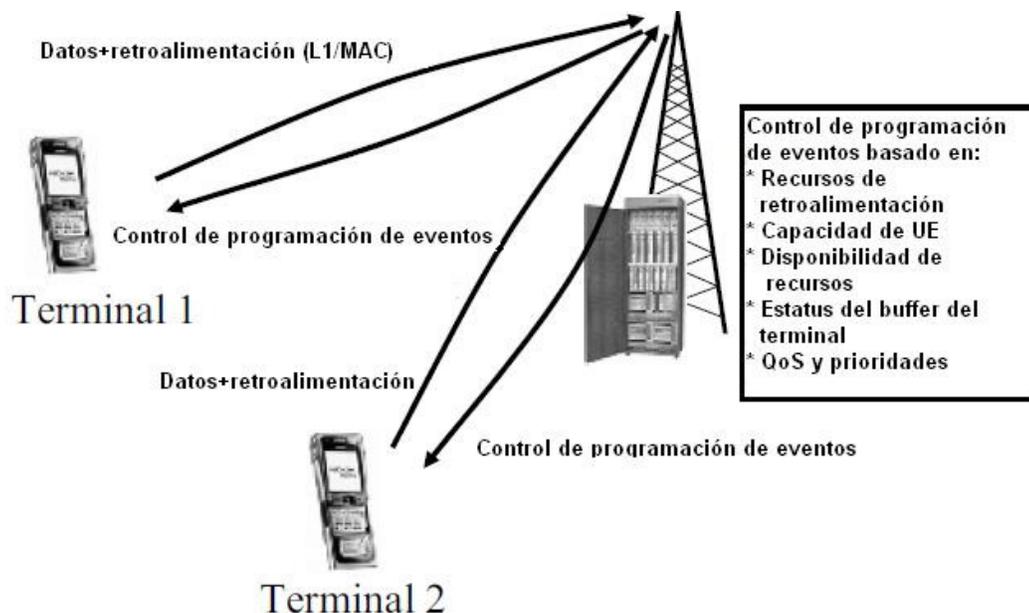


Figura 3.26 Principio de programación de eventos en Nodo B HSUPA.

### 3.3.2. Claves de la Tecnología HSUPA

HSUPA del sistema WCDMA desarrollado por 3GPP es en hecho un nuevo canal de transporte de enlace de subida (E-DCH) que trajo alguna de las mismas características para el enlace de subida como el HSDPA con su nuevo Canal Compartido de Enlace de Bajada a Alta Velocidad (High Speed Downlink Shared Channel, HS-DSCH) proveído para el enlace de bajada. El canal de transporte E-DCH soporta Nodo B de alta velocidad basado en programador de eventos, capa física de alta velocidad HARQ con incremento de redundancia y, opcionalmente un pequeño intervalo de tiempo de transmisión de 2 ms (TTI). A diferencia de HSDPA, HSUPA no es un canal compartido, es uno dedicado, por la estructura el E-DCH es más parecido al DCH de la Edición 99 pero con programación de eventos a alta velocidad y HARQ que el enlace de subida HSDPA: eso es, cada UE tiene su propia trayectoria de datos E-DCH dedicado hacia el Nodo B que es continuo e independiente de los DCHs y E-DCHs para otros UEs. La Tabla 3.2 lista la aplicabilidad de las características claves para DCH, HSDPA y HSUPA.

Respectivamente, nuevos canales de señalización son necesarios (como se muestra en la Figura 3.27); todos los canales (excluyendo los de broadcast) mostrados en la figura son necesarios para la operación de HSUPA. En la Figura 3.27 es asumido que el enlace de bajada esta en el DCH, en muchos casos es previsto que HSDPA podría ser usado, pero por claridad solo el enlace de bajada DCH es mostrado en adición para los canales asociados a HSUPA.

Tabla 3.2 Comparación entre HSDPA, HSUPA y DCH.

<b>Característica</b>	<b>DCH</b>	<b>HSDPA (HS-DSCH)</b>	<b>HSUPA (E-DCH)</b>
<b>Factor de dispersión variable</b>	SI	NO	SI
<b>Control de potencia a alta velocidad</b>	SI	NO	SI
<b>Modulación adaptativa</b>	NO	SI	NO
<b>BTS basada en programación de eventos</b>	NO	SI	SI
<b>Rápido L1 HARQ</b>	NO	SI	SI
<b>Soft Handover</b>	SI	NO	SI
<b>Longitud TTI (ms)</b>	80, 40, 20, 10	2	10, 2

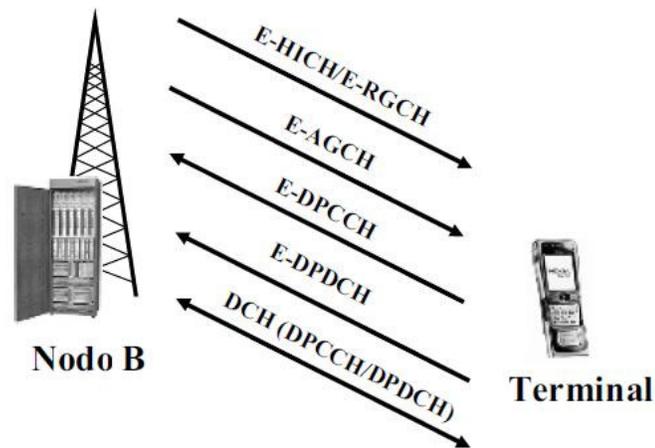


Figura 3.27 Canales necesarios para la operación HSUPA cuando el enlace de bajada está sobre el DCH.

Los canales para el control del programador de eventos como el Canal Absoluto Concedido E-DCH (E-DCH Absolute Grant Channel, E-AGCH) y el E-DCH relativo al canal concedido (E-RGCH), al igual que el apoyo a la retransmisión en el Canal Indicador E-DCH HARQ (E-DCH HARQ Indicator Channel, E-HICH) son cubiertos en detalle en las siguientes secciones. Los datos de usuario son portados en el Canal de Datos Físico Dedicado E-DCH (Enhanced Dedicated Physical Data Channel, E-DPDCH) mientras nueva información de control está en el Canal de Control Físico Dedicado E-DCH (E-DCH Dedicated Physical Control Channel, E-DPCCH). Desde la Edición 99 DCH, el Canal de Control Físico Dedicado (Dedicated Physical Control Channel, DPCCH) es mantenido sin cambio y la necesidad por el DPDCH depende de los servicios mapeados sobre el enlace de subida para el DCH.

A diferencia de HSDPA, con HSUPA no es factible la modulación adaptativa porque no soporta ninguna modulación de alto orden para el programador de eventos. Esto es dado al hecho que modulación de programación de eventos más complejas requieren más energía por bit para ser transmitidos que simplemente

yendo por transmisión con múltiples códigos de canales paralelos usando modulación de Deslizamiento de Fase Binaria (Binary Phase Shift Keying, BPSK).

En el enlace de bajada hay casos donde la señal es transmitida con más energía de la necesaria para una buena calidad de recepción. Así, el uso de órdenes de modulación más altos puede a menudo proveer altas tasas de transferencia de datos sin ninguna potencia de transmisión extra para HSDPA. En el enlace de subida la situación es diferente y tasas de transmisión suficientemente altas requieren toda la potencia de transmisión de la UE, siempre relativamente cerca del Nodo B es disponible con modulación BPSK y transmisión multicodigo.

### **3.3.2.1. Programador de Eventos para HSUPA**

HSDPA movió el programador de eventos de enlace de bajada de la RNC al Nodo B con el objeto de hacer las decisiones con la menor latencia posible. El programador de eventos de HSUPA hace lo mismo como para el enlace de bajada y mueve la programación para el Nodo B, pero las similitudes entre el programador de eventos de HSDPA y HSUPA terminan ahí. Con HSDPA todas las celdas pueden ser direccionadas a un único usuario por un corto periodo de tiempo, y en este mismo sentido puede alcanzar altos picos de velocidades de transferencia de datos para ese UE en particular, pero simultáneamente dejando a todo los otros terminales con cero velocidad de transferencia. En el siguiente instante los recursos del Nodo B son usados para servir a algún otro UE y así sucesivamente. Obviamente, con HSUPA esto no es posible, porque cuando HSDPA se encuentra en el programador de eventos de tipo “uno a muchos” HSDUPA está en el programa de eventos “muchos a uno”. La potencia de transmisión de los recursos del enlace de subida de una celda son distribuidos eventualmente para los usuarios, cada UE tiene su propio transmisor y puede solo transmitir datos desde ese UE en particular. Entonces, obviamente, en el enlace de subida la potencia de transmisión de los recursos de la celda no puede solo ser dada a un solo UE una vez en el tiempo y a otro en otro intervalo de tiempo, los usuarios tienen sus propios recursos de

potencia de transmisión los cuales claramente no pueden ser compartidos. Este solo hecho implica la necesidad de tener un gran nivel de paralelismo en el programador de eventos de enlace de subida y, así, el canal dedicado cercano será visto como el único confiable con HSUPA, contrario al canal compartido cercano de HSDPA.

El recurso compartido del enlace de subida propicia el aumento del ruido, o el aumento de la potencia total recibida vista desde el Nodo B receptor. Generalmente, un UE (siempre y cuando se encuentre transmitiendo a la potencia máxima) por lo cual es muy beneficioso para el programador de eventos conocer en cada instante de tiempo cuanto de los recursos cada UE consume y tratar de mantener el nivel de interferencia cercano al mínimo.

Sí se asume que todos los UE activos quieren transmitir al mismo tiempo con la más alta tasa de transferencia de datos que sea posible, entonces el programador de eventos tiene muy poco que hacer en el enlace de subida. Su tarea simplemente se limita a admitir nuevos usuarios y a bajar de categoría la asignación de “viejos” usuarios. Esto es muy diferente para el programador de eventos HSDPA. Como no es posible para la RNC programarse de acuerdo a las necesidades del UE y a los cambios de transmisión, por lo cual simplemente aprovisiona a todos los usuarios con una cierta tasa máxima de transferencia que ellos tienen permitido usar cuando sea que ellos puedan. Sí la utilización del máximo es muy baja o completamente inexistente, sí la carga de enlace de subida está llegando a ser muy alta o sí nuevos usuarios son admitidos por la celda, entonces la asignación es reducida.

La Figura 3.28 muestra la bien conocida curva de carga del enlace de subida donde la relación de celda a través de la potencia de interface de enlace de subida es mostrada. En lo más alto de la grafica se muestra que cierto punto de la celda llega a ser inestable, dado todos los usuarios experimentan tal interferencia desde otros usuarios, ellos deben incrementar su potencia para ser escuchados y

comenzar la generación de más interferencia para la celda, afectando de nuevo a otros usuarios y así sucesivamente. Esto es conocido como efecto de grupo, donde al final no es problema que tan fuerte tú grites, tú aun no serás escuchado. Obviamente, esta situación es altamente indeseable en el sistema y el enlace de subida donde la principal tarea del programador de eventos es la de asegurar que la sobrecarga no ocurra. La secundaria, pero para el usuario final de igual importancia, es la tarea de tratar y usar mucha de la capacidad del enlace de subida como sea posible sin correr el riesgo de que la celda llegue a sobrecargarse.

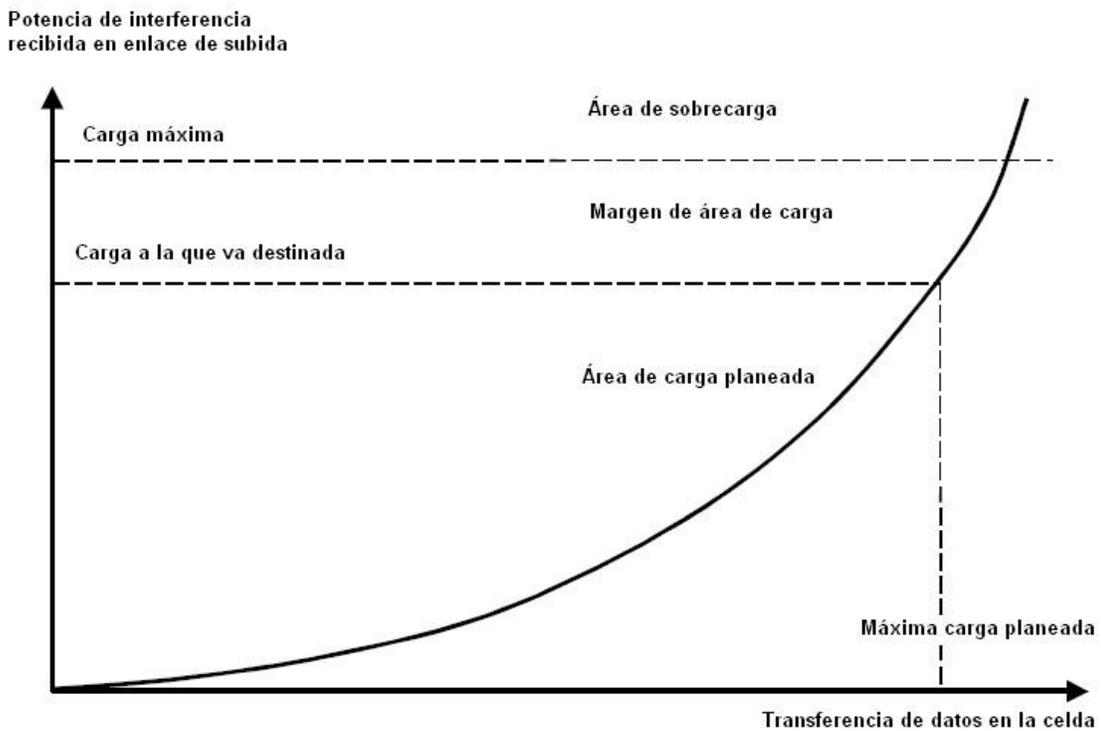


Figura 3.28 Curva de carga de enlace de subida.

Con HSUPA la programación de eventos está mucho más cercana a la interface radio, teniendo más información instantánea acerca de la situación de interferencia del enlace de subida, y puede controlar las tasas del enlace de subida de una manera rápida.

### 3.3.2.2. Canal de Transporte E-DCH y Canales Físicos.

HSUPA es un nuevo canal de transporte de enlace de subida, E-DCH. El cual soporta características mejoradas para los canales de transporte de enlace de subida de la Edición 99. El procesamiento del canal de transporte de enlace de subida para E-DCH es similar al proceso del enlace de subida DCH con dos excepciones. Puede ya sea ser solo un canal de transporte E-DCH en la UE o pueden ser múltiples DCHs paralelos que son multiplexados juntos para un único Canal de Transporte de Código Compuesto (Coded Composite Transport Channel, CCTRCH) de tipo DCH. Sin embargo, la capa MAC puede multiplexar múltiples servicios paralelos en un único E-DCH. La otra diferencia significativa es el soporte HARQ para el E-DCH el cual es proveído en el canal de transporte.

Después del procesamiento del canal de transporte, el E-DCH mapea uno o múltiples nuevos canales dedicados de datos físicos paralelos (E-DPDCHs) para transmisión de capa física. Esto es completamente paralelo a la cadena de procesamiento del enlace de subida DCH y a los canales físicos, ambos E-DCH y DCH pueden coexistir en el mismo UE con la restricción que la máxima tasa de transferencia de datos DCH es de 64 kbps cuando el E-DCH está configurado.

Usando una transmisión simultánea E-DPDCH y canal de control paralelo, es enviado un canal de código separado E-DPCCH. Este E-DPCCH transmite toda la información necesaria acerca del E-DPDCH que es necesaria para conocer como recibe el canal de datos.

En el enlace de bajada tres nuevos canales físicos fueron introducidos para proveer retroalimentación HARQ y facilitar la programación de enlace de subida. El canal indicador E-DCH HARQ (E-DCH HARQ Indicator Channel, E-HICH) envía la información de reconocimiento de regreso hacia el UE. La E-RGCH provee relativa programación de aumento/decremento y el E-AGCH provee un valor absoluto de programación para el UE. Información sobre los canales físicos puede ser encontrada en la referencia [2].

### 3.3.2.3. Procesamiento de Canales de Transporte E-DCH

El procesamiento de canales de transporte es la funcionalidad que transforma los bloques de transporte entregados a la capa MAC por bits transmitidos sobre canales físicos. La Figura 3.29 muestra una visión del procesamiento de los canales de transporte DCH y E-DCH desde la capa MAC hacia los canales físicos. El procesamiento de canales de transporte para el DCH y el E-DCH son descritos en [2].

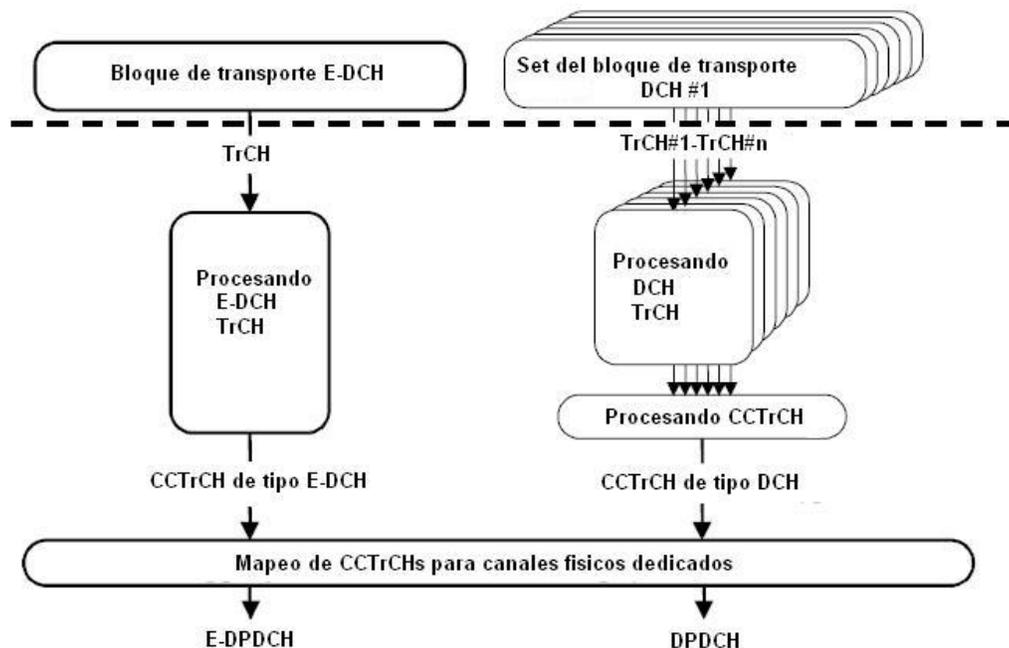


Figura 3.29 Proceso de canales de transporte.

Una cadena única de procesamiento de canales de transporte E-DCH siempre obtiene un bloque de transporte para el proceso de transmisión en un TTI, porque (por el DCH) un set de bloques de transporte para cada DCH configurado será entregado por el procesamiento de la cadena. En la Figura 3.30 la diferencia entre las cadenas de los elementos de procesamiento de canales de transporte E-DCH y DCH son mostradas:

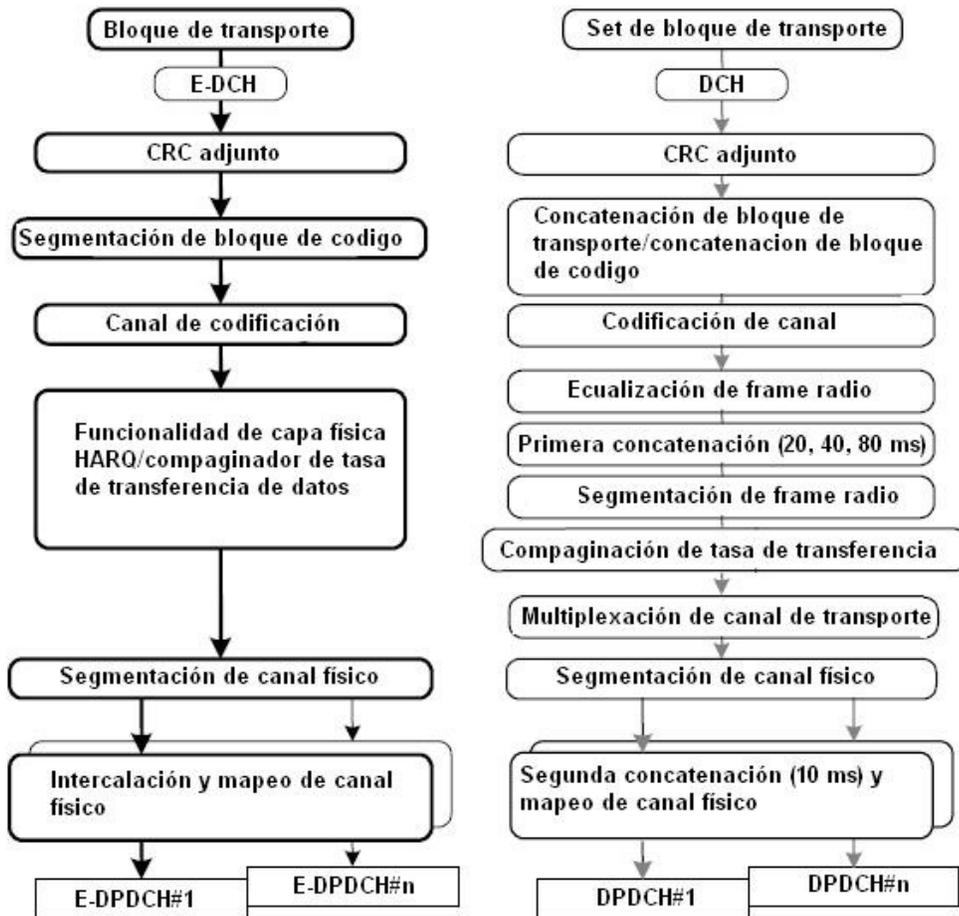


Figura 3.30 Detalles de procesamiento de canal de transporte

### 3.3.2.4. Canal de Datos Físico Dedicado E-DCH

El Canal de Datos Físico Dedicado E-DCH (E-DCH Dedicated Physical Data Channel, E-DPDCH) es un nuevo canal físico de enlace de subida usado para transmisión de bits (como resultado del procesamiento del canal de transporte E-DCH) desde el terminal hacia la estación base. Este es un nuevo canal paralelo que existe para todos los canales de enlace de subida dedicados de la 3GPP de la Edición 5 (DPDCH y DPCCH usados para la transmisión de datos en el enlace de subida y el HS-DPCCH usado para la entrega de retroalimentación HSDPA). Así, con la introducción de HSUPA pueden estar hasta cinco diferentes tipos de canales de transmisión dedicados simultáneamente en el enlace de subida.

El E-DPDCH tiene una estructura similar al del DPDCH de la Edición 99 con unas pocas excepciones. Ambos soportan Facto Variable de Dispersión Ortogonal (Orthogonal Variable Spreading Factors, OVSFs) para ajustar el número de canales de bits al monto de datos siendo transmitidos. Ambos podrían ir más allá de la tasa de datos que un canal de datos físico puede soportar por los canales de transmisión múltiple en paralelo [2]. Ambos usan modulación BPSK y siguen el mismo lazo de control de potencia.

La propiedad más notable del E-DPDCH que el DPDCH no tiene y es la única que hace HSUPA es: el E-DPDCH soporta nivel de HARQ de capa física de alta velocidad y Nodo B de alta velocidad basado en programación de eventos. Sin embargo, estas no son realmente propiedades del canal de datos físico, pero el HARQ es visible en la cadena del proceso de canal de transporte y la programación de eventos es visible en la capa MAC.

La diferencia más grande de E-DPDCH es el soporte de un factor de dispersión (Spreading Facto, SF) de 2, lo cual permite la entrega de dos veces más canales de bits por código que el factor de dispersión mínimo 4 que el DPDCH soporta. Sin embargo, esto no es completamente cierto ya que DPDCH podría soportar seis códigos SF4 paralelos, el E-DPDCH soporta simultáneamente transmisión de dos códigos SF2 y dos códigos SF4 los cuales impulsan a la máxima tasa de transmisión de 5.76 Mbps de la capa física.

Tabla 3.3 Pasos de Tasa de Bit por Canal Físico para DPDCH y E-DPDCH.

Tasa de transferencia de bit de canal	DPDCH	E-DPDCH
15-960 kbps	SF256-SF4	SF256-SF4
1.92 Mbps	2 x SF4*	2 x SF4
2880 Mbps	3 x SF4*	—
3840 Mbps	4 x SF4*	2 x SF2
4800 Mbps	5 x SF4*	—
5760 Mbps	6 x SF4*	2 x SF4 + 2 x SF2

\*Multicódigo no es soportado en la práctica por DPDCH.

Ambos DPDCH y E-DPDCH soportan factores de dispersión de 256, 128, 64, 16, 8 y 4, y respectivamente canales físicos de tasas de bit de 15, 20, 60, 120, 240, 480 y 960 Kpbs con un único código de transmisión del Factor de Dispersión de Variable Ortogonal (Orthogonal Variable Spreading Factor, OVSF). Si los 960 kbps proveídos por canal de tasa de bit por factor de dispersión de 4 es insuficiente para transmitir todos los datos del procesamiento de canal de transporte, entonces ambos se mueven a usar dos códigos SF4 en paralelo y alcanzar una tasa de canal físico de 1920 kbps. Después de dos códigos SF4 paralelos el DPDCH pasa para tres, cuatro, cinco y seis códigos paralelos SF4 hasta un canal de tasa de bit de 5.76 Mbps. El E-DPDCH tiene pequeños incrementos y usa un factor de dispersión de 2. Después de dos códigos SF4, el E-DPDCH va directamente hacia dos códigos SF2. Estos pasos son mostrados en la Tabla 3.3. El uso de dos códigos SF2 provee alguna ganancia sobre el uso de tres o cuatro códigos SF4 paralelos para el pico de transmisión en un radio de potencia promedio y permite la implementación de más

potencia amplificada efectiva por los UEs soportando una tasa de transmisión de datos muy alta.

Tabla 3.4 Comparación DPDCH y E-DPDCH.

<b>Característica</b>	<b>DPDCH</b>	<b>E-DPDCH</b>
<b>SF Máximo</b>	256	256
<b>Transferencia de datos mínimo de canal</b>	15 kbps	15 kbps
<b>SF mínimo</b>	4	2
<b>Transferencia de datos máxima de canal</b>	960 kbps	1920 kbps
<b>Control de potencia a alta velocidad</b>	Si	Si
<b>Modulación</b>	BPSK	BPSK
<b>Soft Handover</b>	Si	Si
<b>Longitud TTI [ms]</b>	80, 40, 20, 10	10, 2
<b>Máximo número de códigos paralelos</b>	6 x SF4*	2 x SF2+2 x SF4

\*El máximo práctico para DPDCH es de 1 x SF4

La diferencia más notable de la capa física entre los dos canales de datos es la nueva longitud de TTI de 2 ms soportado por el E-DPDCH. Este es alcanzado por la estructura del marco (frame) radio, 10 ms son utilizados con el E-DPDCH, pero cuando un TTI de 2 ms está en un marco (frames) de 10 ms este es dividido (el marco de 10 ms) dentro de cinco sub-frames independientes. Las diferencias entre

el DPDCH y E-DPDCH son listadas en la Tabla 3.4. La Tabla 3.5 muestra las tasas de datos del canal físico para diferentes factores de dispersión para el DPDCH y el E-DPDCH.

Tabla 3.5 Velocidad de Transferencia de Datos en un Único Código DPDCH y un Único Código E-DPDCH.

<b>Factor de dispersión</b>	<b>Tasa de bit (Kbps)</b>	<b>Bits/slot</b>	<b>Bits/frame radio</b>	<b>Bits/Sub-frame**</b>
<b>256</b>	15	10	150	30
<b>128</b>	30	20	300	60
<b>64</b>	60	40	600	120
<b>32</b>	120	80	1200	240
<b>16</b>	240	160	2400	480
<b>8</b>	480	320	4800	960
<b>4</b>	960	640	9600	1920
<b>2*</b>	1920	1280	19200	3840

\*SF2 es solo soportado por E-DPDCH.

\*\*Concepto de tres slot sub-frame aplica solo para E-DPDCH.

Cuando un TTI de 10 ms está en uso, los 15 slots del marco (frame) de radio E-DPDCH son usados para entregar el bloque de transporte procesado por la cadena del canal de transporte E-DCH. En el caso de un TTI de 2 ms, cada sub-frames de 2 ms entrega un bloque de transporte E-DCH. La Figura 3.31 muestra la estructura del (marco) frame E-DPDCH.

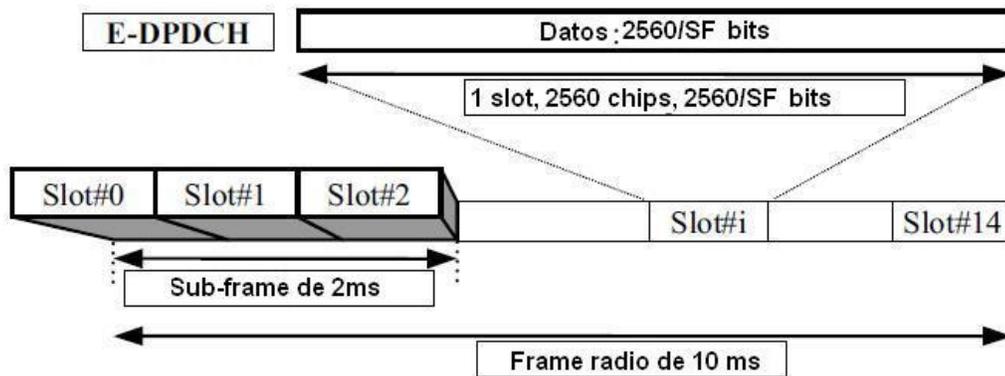


Figura 3.31 Estructura de marco (frame) E-DPDCH

El E-DPDCH no es un canal autónomo, requiere transmisión simultánea del DPCCH. Los bits pilotos de DPCCH son necesarios para la estimación del canal y la razón de interferencia a señal (Signal to Interference Ratio, SIR) la estimación en el receptor y la potencia de control de bit entregada al DPCCH es necesaria para el control de potencia de enlace de bajada. Además de esto, otro canal de control paralelo es necesario con el E-DPDCH para entregar la información que el receptor necesita para conocer que formato de transmisión E-DPCCH esperar. Este nuevo canal de control es nombrado el E-DPCCH; el E-DPDCH no puede existir sin una transmisión simultánea E-DPCCH.

### 3.3.2.5. Canal de Control Físico Dedicado E-DCH

El E-DPCCH es un nuevo canal físico de enlace de subida usado para transmitir información fuera de banda sobre transmisión E-DPDCH desde el UE hasta la estación base. El E-DPCCH (parecido al E-DPDCH) es un nuevo canal que existe paralelo a todos los canales de enlace de subida dedicados de 3GPP en la Edición 5, y siempre acompañando la transmisión E-DPDCH.

Para algunas extensiones el E-DPCCH hace lo mismo para la transmisión del E-DPDCH como el DPCCH hace para la transmisión del DPDCH, el canal de control entrega la información necesaria para decodificar el correspondiente canal de

transmisión de datos. La principal diferencia entre los dos es que el DPCCH también provee información común, por ejemplo, estimación de canales y control de potencia, mientras el E-DPCCH solo contiene información sobre el E-DPDCH.

Tabla 3.6 Formato de Slot para E-DPCCH.

<b>Factor de dispersión</b>	<b>Tasa de bit (Kbps)</b>	<b>Bits/Slot</b>	<b>Bits/marco (frame) radio</b>	<b>Bits/Sub-frame</b>
<b>256</b>	15	10	150	30

El E-DPCCH tiene solo un posible formato de slot (como se muestra en la Tabla 3.6), el cual usa un factor de dispersión de 256 y es posible entregar hasta 30 canales de bits en un sub-frame de 2 ms. Este es diseñado para entregar 10 bits de información a cada E-DPDCH TTI transmitido. El E-DPCCH usa la misma (30,10) codificación de segundo orden de lectura Reed-Muller <sup>23</sup> como el usado por el Indicador de Combinación de Formato de Transporte (Transport Format Combination Indicator, TFCI) en el DPCCH. Este número de bits puede ser portado por el E-DPCCH en 2 ms. Sí la longitud TTI de la E-DPDCH es 10 ms, entonces el E-DPCCH de 30 bits sub-frame es repetido cinco veces permitiendo reducir el nivel de potencia. Con este procedimiento la misma estructura E-DPCCH puede ser empleada sin importar el TTI usado por la transmisión E-DPDCH. La estructura del marco (frame) E-DPCCH es ilustrada en la Figura 3.32, el código y mapeado de bits E-DPCCH son descritos en la referencia [2].

<sup>23</sup> Es una familia de códigos lineales para corrección de errores usados en Telecomunicaciones.

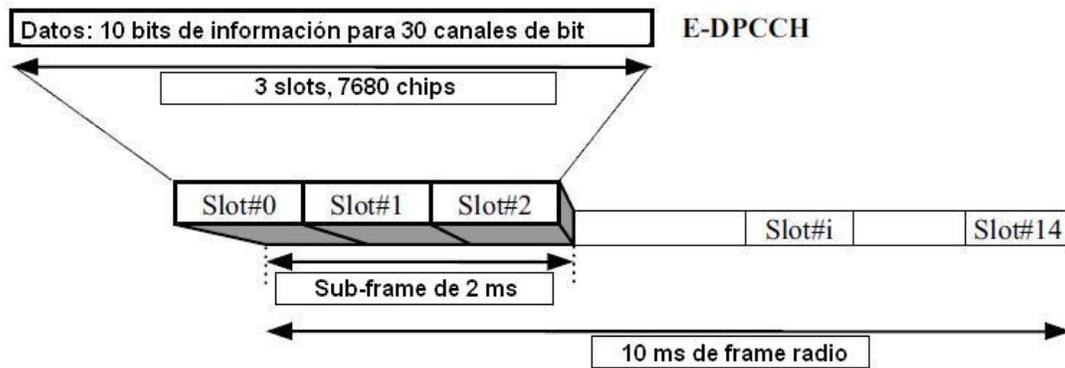


Figura 3.32 Estructura del marco (frame) E-DPDCH.

Los 10 bits de información en el E-DPCCH consisten de tres diferentes segmentos:

- E-TFCI, el Indicador de Combinación de Formato de Transporte E-DCH (E-DCH Transport Format Combination Indicator) de 7 bits indica el formato de transporte siendo transmitido simultáneamente en los E-DPDCHs. En esencia, el E-TFCI dice al receptor el tamaño de bloque de código de transporte en el E-DPDCH. Con esta información el receptor puede entregar cuantos E-DPDCHs son transmitidos en paralelo y que factor de dispersión están usando.
- RSN, el Número de Secuencia de Retransmisión (Retransmission Sequence Number) de 2 bits informando el número de secuencia HARQ del bloque de transporte siendo enviado en los E-DPDCHs. La transmisión inicial de un bloque de transporte es enviado con RSN=0, la primera con RSN=1, la segunda con RSN=2, y todas las demás secuencias de transmisión con RSN=3.
- Bit Feliz (Happy Bit), es un solo bit que indica si la UE está contenida con la actual tasa de datos (o relativa potencia permitida para ser usada por los E-DPDCHs) o si puede usar asignación de potencia más alta.

### 3.3.2.6. Canal Indicador HARQ E-DCH

El E-HICH (E-DCH HARQ Indicator Channel) es un nuevo canal físico usado para transmitir reconocimiento positivo o negativo para la transmisión de paquetes de enlace de subida. Sí el Nodo B recibe la transmisión E-DPDCH TTI correctamente este responderá con un reconocimiento positivo (ACK) y si este recibe el TTI incorrectamente responderá con un reconocimiento negativo (NACK). La información E-HICH es modulación BPSK<sup>24</sup> y la modulación depende de cual celda está transmitiendo el E-HICH. Sí el E-HICH está llegando desde el set de enlace radio contenido en el enlace de radio sirviendo E-DCH (transmitiendo desde la estación base que tiene la celda servidora E-DCH), entonces ambos ACKs y NACKs son transmitidos. Los E-HICHs transmitidos por los Nodos B que no contienen la celda servidora E-DCH solo transmiten ACKs. Sí una celda no recibe el E-DPDCH TTI correctamente eso no es problema ya que el UE continuará retransmitiendo hasta que al menos una celda responda con un ACK.

El propósito de este arreglo es guardar potencia de transmisión de enlace de bajada. La idea detrás de las diferentes modulaciones es que los Nodos B que no tienen el servicio de la celda E-DCH son normalmente los que no tienen la mejor conexión a la UE y tienen más probabilidades de no recibir el E-DPDCH TTI correctamente y significativamente tienen una mayor porción de NACKs que de ACKs para ser transmitidos. En este sentido solo los ACKs consumen capacidad de enlace de bajada. Para el enlace de radio servidor de set E-DCH, la asunción es que más ACKs que NACKs son transmitidos. Cuando ambos ACK y NACK resultan en transmisión de bit BPSK (+1 y -1 respectivamente) el pico de potencia requerido para transmitir un ACK es más pequeño cuando el receptor necesita separar el +1 del -1 cuando podría ser el caso sí necesita separar +1 de 0 (0 como no transmisión). El mapeo de ACK/NACK para transmisión E-HICH desde diferentes tipos de celdas son listados en la Tabla 3.7.

---

<sup>24</sup> Modulación binaria por desplazamiento de fase.

Tabla 3.7 Mapeo de ACK/NACK para E-HICH.

Recepción de TTI E-DCH	Respuesta lógica	Transmisión sobre E-HICH	
		Celda en la misma RLS con la celda servidora HSUPA	Otras celdas
TTI recibido correctamente	ACK	+1	+1
TTI recibido incorrectamente	NACK	-1	DTX
TTI no detectado	—	DTX	DTX

Para todas las celdas en el mismo Nodo B es asumido que pueden recibir transmisión de enlace de subida E-DPDCH en cooperación y así, siempre sí hay múltiples celdas en el Nodo B participando en un soft handover de la recepción TTI ya sea exitosa o fallida será percibido solo una vez, no separadamente en todas las celdas. Debido a esto todos los E-HICHs transmitidos desde el Nodo B conteniendo la celda E-DCH servidora de ACKs y NACKs, efectivamente habilitara al UE para combinar el enlace radio para más detección de ACK/NACK.

La estructura de los canales E-HICH y E-RGCH es exactamente la misma, ellos son mostrados en la Figura 3.33. Cada bit “1” de información es entregado en tres slots. En el caso de un TTI de 2 ms los tres slots son repetidos cuatro veces resultando en un mensaje de longitud de 8 ms. La excepción es el E-RGCH

transmitido desde las celdas que no pertenecen al set de enlace radio servidor E-DCH. Esos canales siempre (sin tomar en cuenta el TTI E-DCH) transmiten mensajes de 10 ms de longitud (los tres slots son siempre repetidos cinco veces).

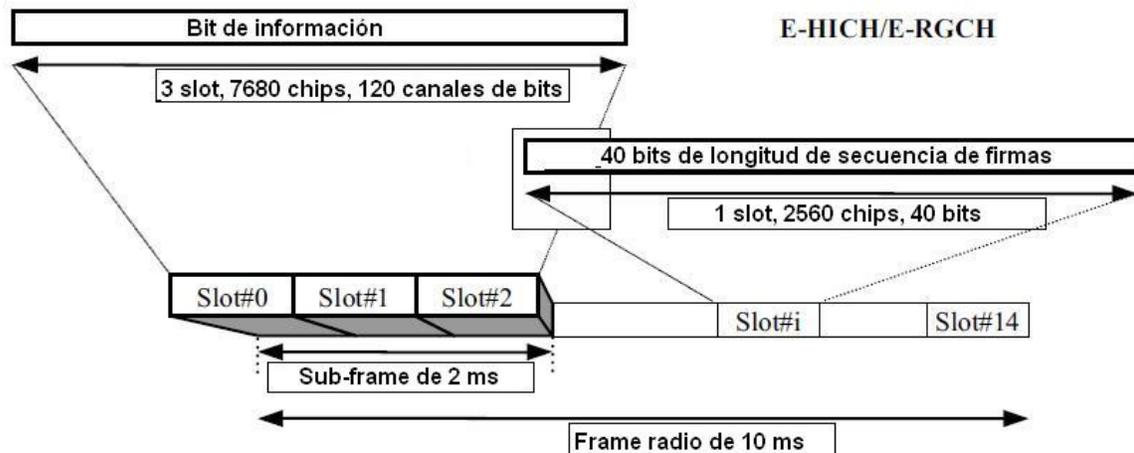


Figura 3.33 Estructura del marco (frame) E-HICH/E-RGCH.

La construcción básica del bloque E-HICH/E-RGCH es una secuencia ortogonal de 40 bits de longitud los cuales permiten la multiplexación ortogonal de 40 bits en un slot con un único factor de dispersión de código de canal de 128. El mismo bit E-HICH/E-RGCH es repetido tres veces sobre tres slots, pero usa diferente firma en cada uno de los tres slots siguiendo un determinado patrón de código de salto. Esto es porque diferente par de firmas tienen diferente aislamiento en un ambiente de radio real y, así el efecto es promediado en este sentido. Secuencia de firmas y patrones de salto son definidos en la referencia [2].

E-HICHs y E-RGCHs utilizan secuencias ortogonales de 40 bits de longitud para multiplexar múltiples E-HICH y E-RGCH (40 en total) en un único código de canal de enlace de bajada con factor de dispersión de 128.

Una celda puede usar códigos de canalización múltiple para exceder el límite de 40 firmas (20 E-HICHs y 20 E-RGCHs en un código) con la obligación que el E-HICH y E-RGCH deseados por el mismo UE deben ser transmitidos con el mismo

código de canalización. La Figura 3.34 muestra la operación del Nodo B para combinación de hasta 40 firmas en un único código de canalización de enlace de bajada.

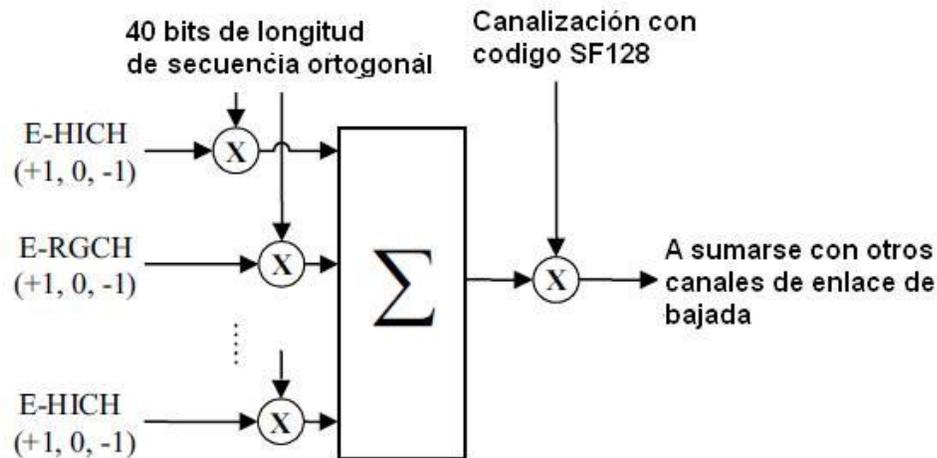


Figura 3.34 Multiplexación de hasta 40 canales E-HICHs/E-RGCHs sobre un único canal de código.

### 3.3.3. Motivación e Impacto de Dos Longitudes TTI

Mientras HSDPA solo soporta un único TTI (2 ms), con HSUPA hay dos longitudes TTI (2 y 10 ms) que pueden ser elegidas. La motivación por la longitud de 2 ms fue el beneficio potencial del desfase mientras 10 ms fue necesario para el propósito de asegurar la operación en el borde de la celda.

Un beneficio potencial del desfase podría ser obtenido si no hay muchas transmisiones usando un TTI de 2 ms, como el desfase entre transmisiones es pequeño comparado con el caso de 10 ms. Un problema ocurre cuando se acerca a un área de baja geometría (cercano al borde de la celda) donde la señalización usando un periodo de 2 ms comienza a consumir mucha potencia de transmisión, especialmente en los alrededores del final de la BTS. Esto es ilustrado en la Figura 3.35. La diferencia con HSDPA es que ahora un número potencialmente mucho más grande de usuarios están esperando ser activados simultáneamente y, así

también proveer señalización de enlace de bajada para un gran número de usuarios usando periodo de 2 ms llega a ser imposible.

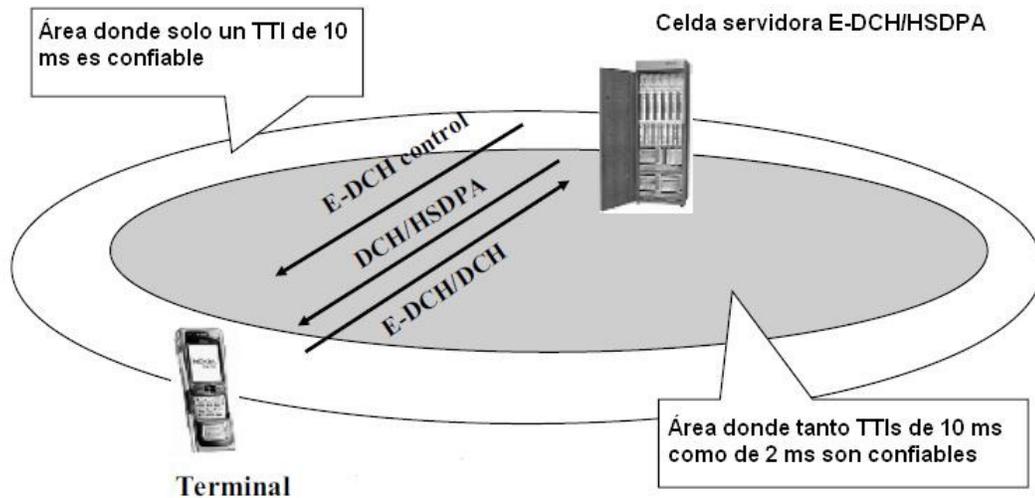


Figura 3.35 Aplicabilidad de TTI de 10 ms y 2 ms en una celda.

Con tasas de transmisión de datos debajo de 2 Mbps no hay mayor diferencia desde el punto de vista de la capacidad sin tomar en cuenta el TTI usado. Yendo arriba de 2 Mbps por usuario, entonces el tamaño del bloque usando 10 ms podría llegar a ser demasiado grande, Por lo cual, tasas de datos arriba de 2 Mbps son solo proveído usando TTI de 2 ms. Con macro celdas, tasas de transferencia de datos prácticos en el enlace de subida tienen deficiencias dadas por las limitaciones en la potencia de transmisión. Esto significa que TTI de 10 ms son esperados como el valor inicial para el desarrollo del sistema, esto también es reflejado en términos de capacidad (donde un TTI de 2 ms es opcional para muchas categorías).

### 3.3.4. Procedimiento de Capa Física

El procedimiento de operación de capa física de HSUPA tiene menos elementos en la capa física de especificaciones comparada con HSDPA. Una de las razones claves es que muchas de las funcionalidades con respecto al control de transmisión del terminal es localizado en las especificaciones MAC [2]. Los procedimientos de

capa física cubren el manejo de señalización de capa física desde el Nodo B y la operación HSUPA en modo comprimido.

### 3.3.5. HARQ

El principio fundamental de la operación HSUPA HARQ tiene mucha similitud con HSDPA en términos de retransmisión combinada. Ahora, como la dirección del enlace es diferente, el buffer sirve principalmente para atender al Nodo B en lugar del terminal. El terminal protegerá el reconocimiento de datos en memoria, y los disparos (triggers) de retransmisión de capa MAC sí la capa física provee un NACK como recibido desde los Nodos B en el set E-DCH activo. La diferencia fundamental en el procedimiento de operación es la naturaleza síncrona del proceso HSUPA HARQ. Con un TTI de 10 ms, hay cuatro procesos HARQ, y los tiempos de procesamiento son fijados dentro de una ventana de 2 ms. La ventana resultante de la regla de tiempo establecida para el canal de señalización de enlace de bajada es asociada con la transmisión de datos del enlace de subida.

Dependiendo en el tiempo de enlace de subida, los canales de señalización de enlace de bajada son establecidos con la resolución de 2 ms para el punto de inicio posible. El proceso HARQ con un TTI de 10 ms es mostrado en la Figura 3.36, donde los cuatro procesos HARQ resultantes son descritos.

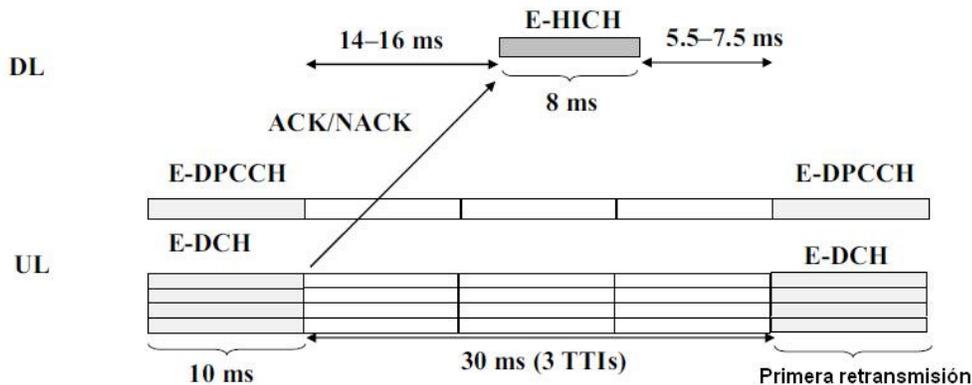


Figura 3.36 Temporizador de proceso HARQ HSUPA con TTI de 10 ms.

No hay necesidad de configurar el número de procesos HARQ, lo cual da una clara orientación de la implementación de la aplicación en el Nodo B en términos de cuanto tiempo de procesamiento necesita ser reunido en todos los casos. El tiempo de procesamiento requerido por Nodo B es aproximadamente de 14 ms, usando las definiciones exactas dadas en la referencia [2]. El rango de hasta 16 ms no puede ser fácilmente utilizado dado que el resultado del tiempo disponible depende del tiempo de enlace de subida del terminal, el cual es difícil de controlar en una red en la cual está incluida la movilidad. El desfase extra para una única transmisión es de 40 ms (incluyendo la espera/procesamiento/señalización más los TTI adicionales por la retransmisión). Con un TTI de 2 ms hay respectivamente ocho procesos HARQ en uso (como muestra en Figura 3.37).

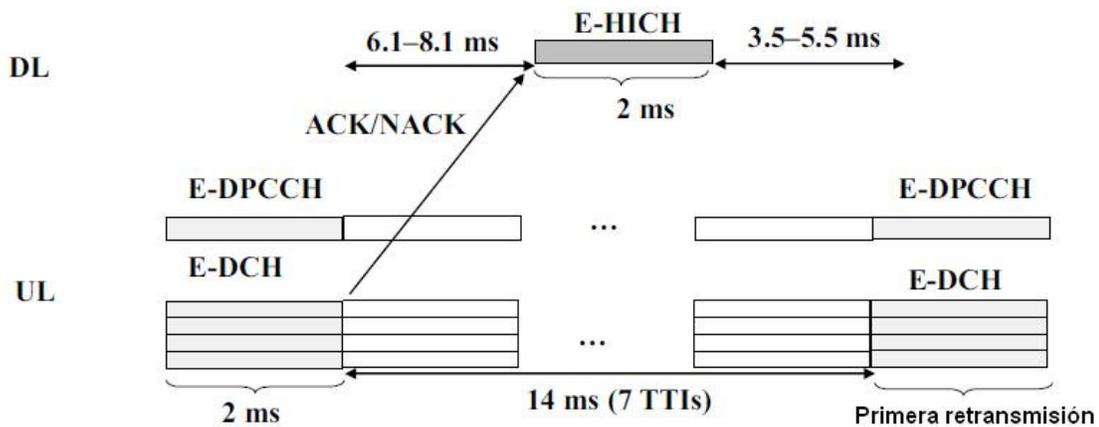


Figura 3.37 Temporizador de proceso HARQ HSUPA con TTI de 2 ms.

El uso del proceso HARQ síncrono evita la necesidad de conocer como parte de los datos cual proceso HARQ está siendo usado –como es el caso de HSDPA para habilitar el programador de eventos de enlace de bajada. Con HSUPA el temporizador dice exactamente cual proceso HARQ está en cuestión, y el solo indicador necesario es sí los datos son nuevos o es retransmisión. Esto es necesario para evitar corrupción de buffer, ya sea dado a error de señalización o,

especialmente en el caso de soft handover, dado que el Nodo B no es consciente del posible ACK enviado por otro Nodo B en el set activo.

### 3.3.5.1. HARQ y Soft Handover

Operación con un set activo más grande que 1 causa implicaciones adicionales para la operación HARQ. Mientras con HSDPA solo un Nodo B es envuelto en el manejo de HARQ, con HSUPA todos los Nodos B en el set activo esta involucrados. La operación HARQ es hecha usando reglas similares para el control de potencia de enlace de subida. Sí el Nodo B del set activo envía un ACK, entonces la información dada a la capa MAC es un ACK que ha sido recibido y la capa MAC considerará la transmisión exitosa y continuará con el siguiente paquete. El principio fundamental de la operación HARQ en soft handover es mostrado en la Figura 3.38. Como los diferentes Nodos B manejan el proceso independientemente, el orden de los paquetes no puede ser preservado por ellos y, así tienen que ser ajustados en la RNC. Esto es también reflejado en la arquitectura del protocolo – en la forma de una entidad MAC adicional en la RNC.

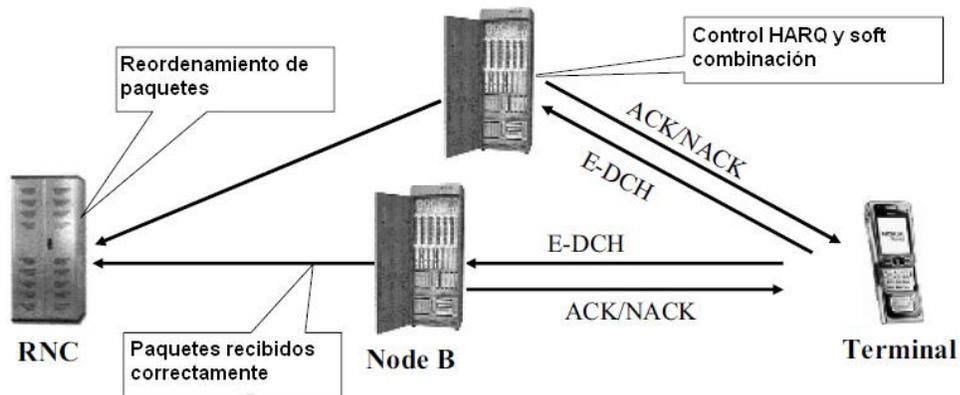


Figura 3.38 Operación HSUPA HARQ en soft handover.

Para NACKs desde las celdas que no son la servidora un mapeo es definido como una secuencia de ceros y, así NACKs no son realmente transmitidos desde otras celdas que no son la servidora. Sí la celda servidora está en softer handover

con otras celdas definidas como pertenecientes al mismo set de enlace radio E-DCH, entonces NACKs son transmitidos desde todas esas celdas para habilitar la combinación en el receptor similar a los comandos de control de potencia recibidos en el caso de softer handover.

### **3.3.6. Capa MAC**

#### **3.3.6.1. Plano de usuario**

La capa MAC HSUPA tiene más funcionalidades en las especificaciones que HSDPA. Esto es dado al hecho que el control del programador de eventos es soportado por la estación base, pero el programador de eventos en si mismo controla la transmisión de datos para el enlace de subida del E-DCH. El algoritmo detallado de como la estación base debe definir qué tipo de control de información debe ser enviada al móvil no está especificado, pero la operación de capa MAC para controlar el terminal al igual que la retroalimentación adicional en lo alto de la capa física de retroalimentación (el bit feliz (happy bit)) como ha sido definido para la UE. La operación HARQ incluyendo el soft handover típico de HARQ también pertenece a las especificaciones de la capa MAC.

La capa MAC HSUPA fue dividida entre la RNC y la BTS. La MAC-es en la RNC garantiza la entrega de datos en secuencia hacia la capa RLC dentro de la RNC. El flujo de datos de usuario a través de la capa MAC con HSUPA es mostrado en la Figura 3.39. Los canales lógicos (DCCH y DTCH) están entonces proveídos en la capa RLC.

Cuando los canales lógicos están siendo mapeados para uso HSUPA (E-DCH) no hay necesidad del encabezado de MAC-d, así MAC-d no toma parte en el flujo de datos. El encabezado MAC-es tiene necesariamente transmisión en un número de secuencias (Transmission Sequence Number, TSN) para permitir el reordenamiento en la RNC. El encabezado MAC-e (BTS) tiene un Indicador de Descripción de Datos (Data Description Indicator, DDI) el cual identifica los canales

lógicos al igual que información sobre el flujo MAC-d y el tamaño MAC-d PDU. La estructura de MAC-e PDU es mostrada en la Figura 3.40, indicando como uno o multiples MAC-es PDU son construidos.

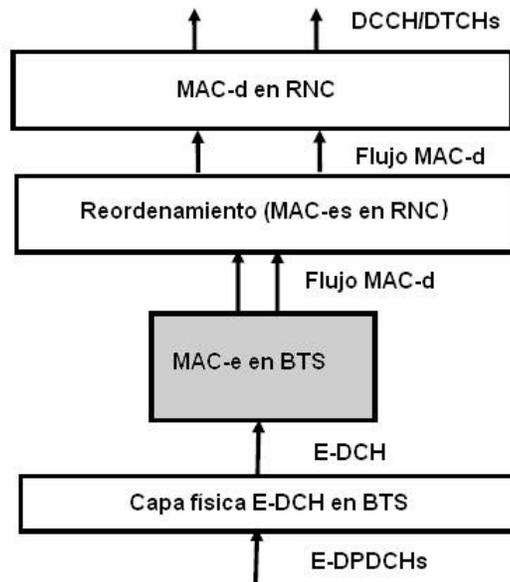


Figura 3.39 Flujo de datos de usuario a través de la capa MAC con HSUPA.

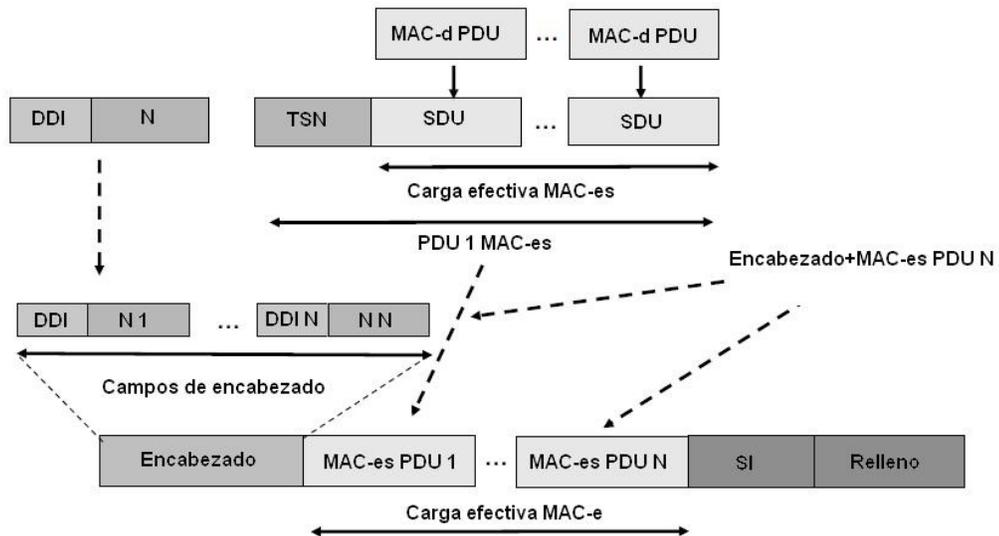


Figura 3.40 Estructura MAC-e PDU HSUPA.

### 3.3.6.2. Control de Mensaje MAC-e, Programador de información

El Programador de Información (Schedule Information, SI) en el MAC-e PDU en la Figura 3.40 se refiere al nivel de mensajes MAC SI que la UE provee al Nodo B servidor de HSUPA. El SI consiste de cuatro elementos de información totalizando 18 bits:

1. El Estatus Total del Buffer E-DCH (Total E-DCH Buffer Status, TEBS, 5 bits) revela el monto total de datos en el buffer de transmisión de la UE. Esta información puede ser usada por el programador para decidir la tasa de datos que podría ser usada por la UE.
2. Identificador de Canal Lógico de la Más Alta Prioridad (Highest Priority Logical Channel ID, HLID, 4 bits) indica la más alta prioridad lógica de canal que tienen los datos en el buffer de transmisión de la UE.
3. Estatus de Buffer del Canal Lógico de Más Alta Prioridad (Highest Priority Logical Channel Buffer Status, HLBS, 4 bits) revela el monto de datos en el buffer por el canal lógico indicado por el ID de Canal Lógico de Más Alta Prioridad (Highest Priority Logical Channel ID, HLID). El HLID y HLBS pueden ser usados por el programador del Nodo B para decidir cual UE debe ser servida primero o servida con la más alta tasa de datos.
4. UPH (5 bits) indica al Nodo B la razón de potencia máxima permitida a la UE para transmitir potencia por el bit piloto DPCCH. En esencia, la razón dice al programador del Nodo B cuanta potencia relativa al UE puede usar para la transmisión de datos. Esta información puede ser usada por el Nodo B.

El Programador de Información (SI) es ya sea transmitido periódicamente o disparado por los datos que llegan a un buffer vacío con la condición de que la UE no tiene permiso para transmitir a cualquier tasa de transmisión de datos. La programación del Nodo B puede usar SI en adición al happy bit en el E-DPCCH.

### **3.3.7. Selección de Formato de Transporte para E-DCH**

El programador de eventos para comandos toma efecto en la selección de formato de transporte de las UE (número de bits a ser transmitidos en un TTI) por el canal de transporte E-DCH. Esta selección del proceso de Combinación de Formato de Transporte E-DCH (E-DCH Transport Format Combination E-TFC) es parte del proceso de la capa MAC.

#### **3.3.7.1. Programador de Eventos HSUPA y el E-TFC**

El programador de eventos HSUPA trabaja ajustando las limitaciones del proceso de selección E-TFC de la UE. El parámetro básico que el programador de eventos del Nodo B ajusta es el máximo factor de ganancia que la UE puede usar para la transmisión del E-DPDCH. El factor de ganancia es el nivel de potencia E-DPDCH transmitido en relación con el nivel de potencia DPCCH. Como el control de potencia a alta velocidad protege los niveles de potencia DPCCH recibidos constantemente, el programador de eventos ajusta el máximo nivel de potencia E-DPDCH permitido para una UE dada, o la comparte del ruido del enlace de subida dado por la UE.

La programación de eventos de HSUPA es facilitada usando tres canales físicos, el E-AGCH, el E-RGCH en el enlace de bajada y un bit feliz (happy bit) portando E-DPCCH en el enlace de subida. En adición a esto la entrega de E-DPDCH en un mensaje SI en el encabezado MAC-e brindando detalles adicionales al programador de eventos del Nodo B. SI puede ser usado en el programador de eventos del Nodo B en adición al happy bit recibido sobre el E-DPCCH. Debe de ser notado que SI está disponible solo cuando es disparado (trigger) por transmisión ya sea como resultado del incremento de los niveles de datos en el buffer o como resultado del transcurrir del tiempo, y cuando el programador de eventos de la celda HSUPA recibe los paquetes transmitidos correctamente. Los canales usados por el programador de eventos HSUPA al igual que la información portada por los mismos se muestra la Figura 3.40.

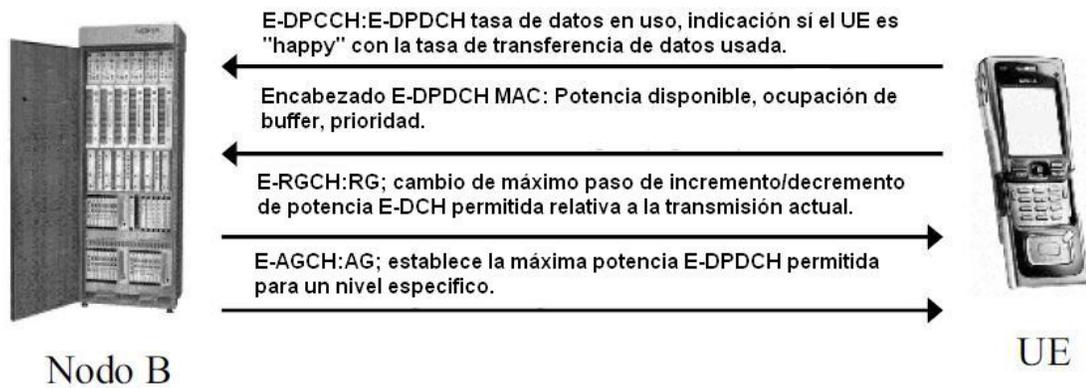


Figura 3.41 Información HSUPA relacionada a la programación de eventos intercambiada sobre el aire

La capa MAC define las reglas para establecer el happy bit transmitido en el E-DPCCH. La información básica que el happy bit entrega es sí la UE puede o no vaciar sus buffers con la asignación de  $N$  TTIs, donde  $N$  es un parámetro señalado por la red. Sí la UE estima que todos los datos en su buffer de transmisión E-DCH pueden ser transmitidos en  $N$  TTIs sin incrementar su máximo, entonces la UE indica que este es "Feliz" (happy). De otra manera, este informa al Nodo B que este es "no feliz" (unhappy). Simplemente basado en el único bit en el E-DPCCH y conociendo sí la UE está transmitiendo con el máximo asignado o debajo de este, el programador de eventos del Nodo B puede tomar decisiones de ascender, descender o mantener una asignación sin cambio en la UE. Sí la UE está transmitiendo debajo de su máximo por multiples TTI en un fila, esto hace sensible el descenso de asignación y quizá el ascenso de algún otro UE indicando que es unhappy.

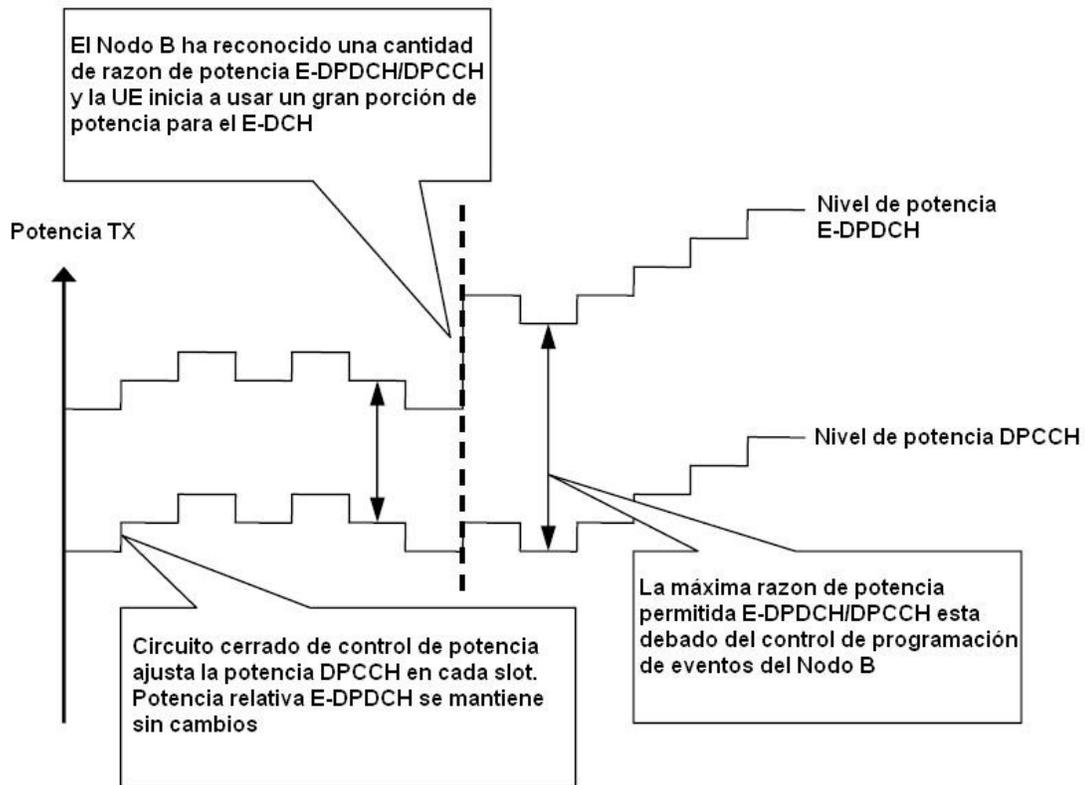


Figura 3.42 Programación de eventos del Nodo B controla la potencia E-DPDCH a DPCCH máxima permitida.

Así, el Nodo B recibe información en el enlace de subida de la situación del UE (happy bit, SI y tasa de transferencia de datos de usuario) y ajusta la potencia relativa de transmisión máxima permitida del E-DPDCH de la UE en el enlace de subida. La Figura 3.42 muestra el cambio en la máxima razón de potencia E-DPDCH/DPCCH y el UE utilizando la potencia relativa más alta permitida para transmitir con una alta tasa de transferencia de datos.

### 3.3.8. Parámetros lub

Similar a la operación HSDPA, HSUPA también necesita un número grande de parámetros a ser alineados entre el terminal y el Nodo B. Estos son proveídos (como muestra la Figura 3.43) desde la RNC al Nodo B, basado en algoritmos específicos de cada vendedor de RNCs y en las capacidades del terminal.

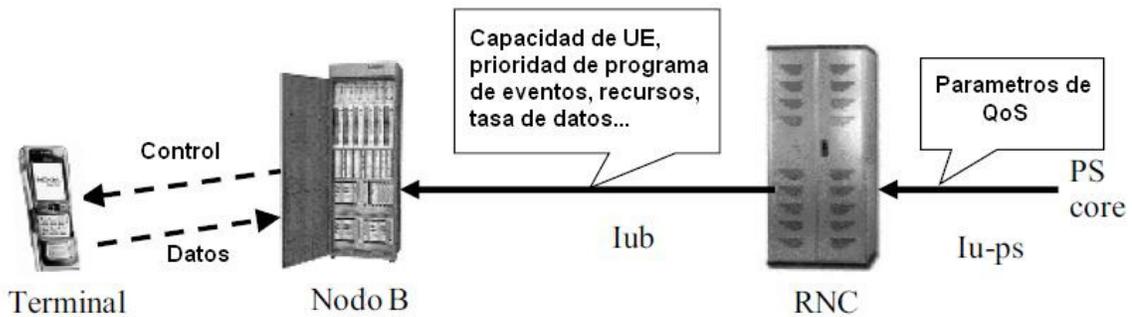


Figura 3.43 Parámetros HSUPA sobre la interface Iub.

Respectivamente, parámetros específicos del terminal son comunicados por señalización RRC para mantener la alineación entre el terminal y el Nodo B. Desde el punto de vista del Núcleo de Red, nada ha cambiado desde la Edición 99, excepto que las tasas de transferencia de datos son más altas y están también disponibles en la dirección del enlace de subida comparado con los teóricos 2 Mbps o los prácticos 384 kbps de enlace de subida siendo usados por los terminales HSDPA.

Hay unos pocos parámetros que son enviados desde el Nodo B hacia la RNC que relacionan las capacidades del Nodo B HSUPA. El Nodo B puede responder con un mensaje. Esto es sumamente útil si los recursos del Nodo B dependen de otras características siendo usadas o visto cuando el Nodo B podría estar sobrecargado desde el punto de vista de los recursos HSUPA.

Para el caso DCH, hay algunas diferencias claves con el uso de la interface Iub. Primero de todo, solo la llamada en “modo de silencio” es usada; es decir, el Nodo B envía paquetes de datos recibidos hacia la RNC solo después de una satisfactoria decodificación del paquete. Marcos (frames) vacíos indicando decodificación fallida o una tasa de datos cero no serán transmitidos como es hecho con DCH, con la excepción de la celda servidora E-DCH cuando el número máximo de retransmisiones HARQ es excedida. La celda servidora E-DCH indicará un proceso HARQ fallido cuando el número máximo de retransmisiones es alcanzado sin éxito,

así el UE progresará a un nuevo paquete. Si el número máximo de retransmisiones HARQ no es excedido, entonces el Nodo B servidor asume que alguna otra BTS ha recogido el paquete.

Para minimizar el desfase punto a punto, el concepto detrás de TTI fue levemente cambiado en la lub. Con un TTI de 2 ms es posible ya sea enviar datos cada 2 ms o usar un TTI de 10 ms y envolver muchos TTI de 2 ms juntos. Cada flujo MAC-d tiene una conexión de transporte separada en la interface lub. En caso de sobrecarga de lub, hay herramientas que la RNC puede usar para control de la máxima tasa de transferencia de datos en el Nodo B.

### **3.3.9. Movilidad**

#### **3.3.9.1. Soft Handover**

HSUPA puede ser operado en soft handover. Para HSUPA puede sin embargo haber diferentes sets activos en uso, como es el caso para la Edición 99 DCH. En la Edición 99 la clave fue asegurar que el control de potencia de enlace de subida fuera manejado en tal sentido que el problema cercanía/lejanía no ocurriera, por tal motivo fue definido 6 como el número de sets activos. Con HSUPA no hay algo similar para el enlace de subida, así funcionalidades del programador de eventos y HARQ no necesitan operar con muchas estaciones base como es el caso para la Edición 99 DCH. Especificaciones 3GPP requieren que el terminal maneje menos celdas (máximo cuatro) para la operación de HSUPA. Un ejemplo de un despliegamiento mixto es mostrado en la Figura 3.44.

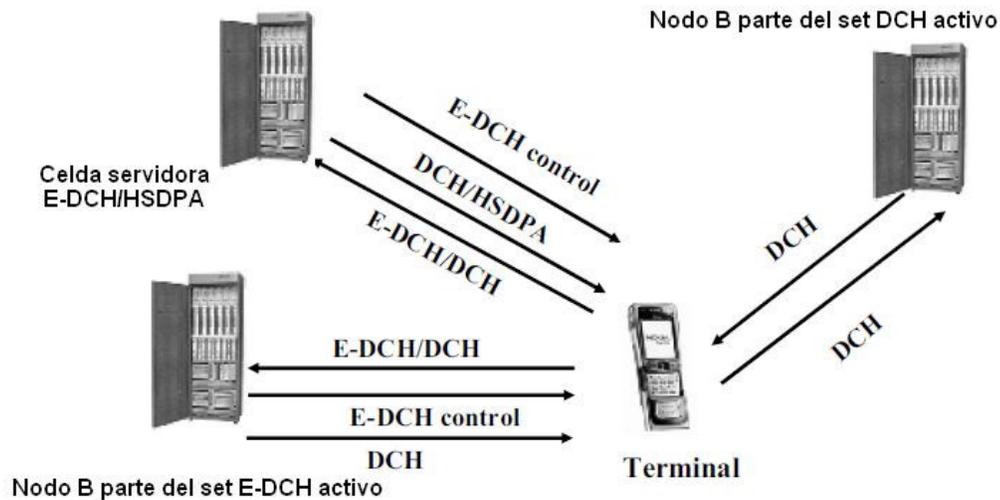


Figura 3.44 Sets activos DCH y E-DCH.

Sí el set activo contiene estaciones base que no tienen capacidad HSUPA, entonces al menos el DPCCCH es recibido por todas las estaciones base en el set DCH activo y solo las estaciones base con capacidad HSUPA ejecutan el programador de eventos de operación y HARQ (usando reglas separadas), gestionando el programador de eventos para comandos y retroalimentación HARQ desde múltiples celdas. También, sí el set activo (como un resultado de las condiciones de la red) necesita ser más grande que cuatro por propósitos de control de potencia, entonces las celdas adicionales actúan como las celdas de la Edición 99 y no toman parte en HARQ ni en el programador de eventos de operación. Esto permite limitar el número total de canales de señalización adicionales que el terminal tiene para listar en soft handover. Obviamente, todas las celdas en el set activo E-DCH deben de estar en el set DCH activo también, pero el set DCH activo puede también contener celdas que no pertenezcan al set E-DCH activo sí esto es visto como útil para la red.

El cambio en la celda servidora E-DCH puede estar basado en el mismo criterio del cambio de celda servidora HSDPA. Por esto los eventos de mediciones han sido modificados en la Edición 5 para permitir reportar cuando la mejor celda servidora

cambia. No hay razones para que la celda servidora E-DCH no deba de ser la misma celda servidora de HSDPA, y esto es también requerido para el caso en las especificaciones. La red puede configurar la operación de enlace de subida/bajada del UE para que HSDPA no pueda ser usado en el enlace de bajada si HSUPA está siendo usado en el enlace de subida. Desde el punto de vista de las capacidades del terminal todos los dispositivos con capacidades HSUPA deben también soportar HSDPA. Un nuevo evento de medida puede ser usado por la administración del set activo.

### **3.3.9.2. Modo Comprimido**

El manejo de modo comprimido usando HSUPA depende de la longitud TTI. Con un TTI de 2 ms la solución es simple, el enlace de subida E-DPDCH no es transmitido del todo si modo comprimido de solapamiento parcial o completo está siendo usado, la solución es igual para HSDPA. Un sub canal de tiempo es mantenido y la retransmisión es entonces pospuesta para el siguiente TTI disponible del mismo sub canal HARQ, previniendo cualquier error del proceso HARQ. Con un TTI de 10 ms la solución tiene que ser diferente, sino un modo comprimido frecuente podría suspender el flujo de datos críticos, siempre completamente en algún proceso HARQ. En el caso de TTI de 10 ms, el comportamiento del terminal depende en los siguientes casos:

- Sí la transmisión inicial experimenta un modo comprimido de transmisión gap (Transmit GAP, TX GAP), la retransmisión transmitirá el mismo número de slots como la transmisión original (inicial) y el terminal usará transmisión discontinua (Discontinuous Transmission, DTX) para el E-DPDCH para los slots extra (durante los cuales canal es de control son aun transmitidos).
- Sí una TX GAP ocurre para la retransmisión, entonces (como se muestra en el caso B en la Figura 3.45) todos los slots disponibles serán usados. La tasa de funcionalidad de relación se asumirá para la selección del factor de dispersión y la

tasa de relación del mismo número de slots como en la transmisión inicial, pero solo transmitirá cuanto slot esté disponible en el marco (frame) [2].

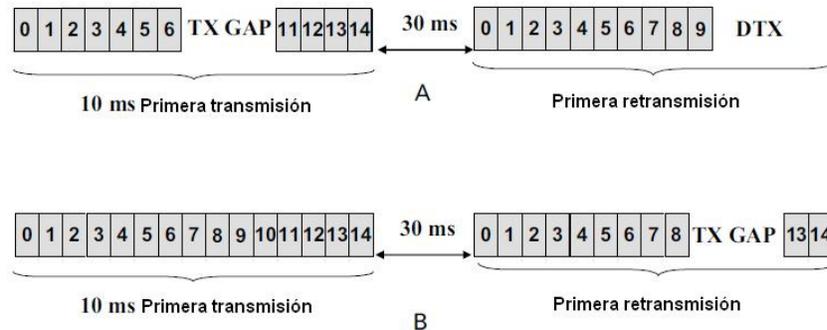


Figura 3.45 Operación de HSUPA con modo comprimido, en caso A solo la primera TX es comprimida; en caso B solo la retransmisión es comprimida.

La operación es simplificada con la definición que la retransmisión siempre asumirá el mismo número de slots para la tasa de relación y selección de factor de dispersión. Desde el punto de vista de la operación práctica, enviar slots con razonable energía por bit es preferible para enviar altas tasas de transferencia de datos (lo cual podría estar sujeto a las capacidades del terminal) para solo unos pocos slots. Con canales de señalización HSUPA en enlace de bajada (E-RGCH/E-AGCH/E-HICH), a pesar que el terminal trate de tomar más energía de la que le es permitido para ignorar esos slots que son solapados con un enlace de bajada TX GAP. Similar a HSDPA, el uso de modo comprimido en E-DPDCH puede ser abolido. Hay una posibilidad de reconfigurar el DCH cuando lleve a cabo medidas de inter-sistema o inter-frecuencia. Desde el punto de vista de la red, configuración desde un TTI de 10 ms a uno de 2 ms (para abolir desfase con el modo comprimido) no es común hacer medidas de inter-sistema e inter-frecuencia, a menudo necesitado para cuando el terminal esta cerca del límite de área de cobertura y, así está teniendo potencia de transmisión limitada.

### 3.4. Capacidades del UE y Tasas de Velocidad de Transferencia de Datos

La misma aproximación fue elegida para capacidades de terminales HSUPA como con HSDPA. El terminal informa a la red de uno a seis posibles categorías de terminales en lugar de señalización individual de capacidades. Las diferencias claves entre diferentes categorías son relacionadas con las capacidades múlticódigo del terminal y el soporte de un TTI de 2 ms. Todas las categorías de terminales soportan el TTI de 10 ms. Las categorías son mostradas en la Tabla 3.8.

Tabla 3.8 Categoría de Terminales HSUPA

<b>Categoría</b>	<b>Número máximo de E-DPDCHs y el factor de dispersión más pequeño</b>	<b>TTIs soportados</b>	<b>Tasa de transferencia de datos máxima con un TTI* de 10 ms</b>	<b>Tasa de transferencia de datos máxima con un TTI de 2 ms</b>
<b>1</b>	1 x SF4	10 ms	0.72 Mbps	N/A
<b>2</b>	2 x SF4	2 y 10 ms	1.45 Mbps	1.45 Mbps
<b>3</b>	2 x SF4	10 ms	1.45 Mbps	N/A
<b>4</b>	2 x SF2	2 y 10 ms	2 Mbps	2.91 Mbps
<b>5</b>	2 x SF2	10 ms	2 Mbps	N/A
<b>6</b>	S x SF2+2 x SF4	2 y 10 ms	2 Mbps	5.76 Mbps

\*Tasa de transferencia de datos en capa física.

Como muestra la Tabla 3.8. Todas las categorías excepto la categoría 1 pueden portar transmisión múlticódigo. Con categoría 6, la notación en la Tabla 3.8 significa

qué dos E-DPDCHs son transmitidos con un factor de dispersión de 4 y dos con un factor de dispersión de 2. Adicionalmente, En la referencia [2] se encuentra definido el tamaño mínimo total de buffer de terminal RLC/MAC para la operación combinada de HSDPA y HSUPA. El rango de valores desde 50 kbytes (categoría HSDPA 12 y HSUPA categoría 1) hacia 400 Kbytes (HSDPA categoría 10 y HSUPA categoría 6).

La capacidad máxima DCH de enlace de subida cuando es configurado simultáneamente con HSUPA es 64 kbps para todas las categorías de UE. Hay un impacto similar en la tasa de velocidad en lo alto de la capa física dado por un sobre encabezado en las capas MAC y RLC, es el caso con HSDPA. Así, tasa de datos encima de la capa RLC para diferentes categorías son mostradas en la Tabla 3.8.

### **3.5. Referencias:**

[1] Release 5, disponible en [www.3gpp.org](http://www.3gpp.org)

[2] Release 6, disponible en [www.3gpp.org](http://www.3gpp.org)

**CAPÍTULO IV**

**“TASA DE BITS, CAPACIDAD Y COBERTURA  
CON HSPA”**

#### **4.1. Introducción**

En este capítulo se presentan resultados del desempeño de HSDPA desde la perspectiva del usuario final y desde el punto de vista de las capacidades del sistema. Primero son analizados el desempeño del enlace del canal de transporte HS-DSCH, el HS-SCCH y el HS-DPCCH. Luego se presentan simulaciones elaboradas por otros investigadores (en laboratorio) de HSDPA a fin de brindar al lector ejemplos sobre los resultados de la capacidad de celda para portadoras dedicadas a HSDPA para los casos donde WCDMA y HSDPA coexisten en la misma portadora. También se presentan ejemplos de cómo la eficiencia del usuario final es afectada por la tasa de datos y por la latencia de la red. Además este capítulo presenta de desempeño de HSUPA incluyendo tasa de velocidad, capacidad y cobertura.

#### **4.2. Factores de Desarrollo General de HSDPA**

Es importante reconocer la complejidad del sistema y la importancia de la asunción del mismo en el desempeño de la valoración de los sistemas de redes inalámbricas avanzadas. El desempeño de un concepto como HSDPA depende significativamente del despliegue, de parámetros de servicio y del desempeño absoluto de variables significativas de escenario en escenario. Algunas de las condiciones esenciales para el desempeño de HSDPA son:

- Los algoritmos de Red, algoritmos específicos de HSPA tales como el programador de eventos para paquetes en la MAC-hs, adaptación de enlace HS-DSCH, control de potencia HS-SCCH y asignación de recursos de transmisión HSDPA.
- El escenario de Despliegue, los niveles de interferencia definidos en la celda por factores tales como pérdidas de propagación, áreas dominantes RF, patrones de movilidad y propagación de multitrayectoria.

- Capacidad y Desempeño del Receptor en la UE, pico de tasa de transmisión de datos, número de códigos de HS-PDSCH, número de antenas para transmisión, recepción y algoritmos de receptor de banda base.
- Tráfico y Calidad de Servicio (QoS), mezcla de Edición 99 DCH y HSPA, número de usuarios activos y sus correspondientes requerimientos de QoS.

### **4.3. Métrica Esencial del Desempeño HSDPA**

Las características fundamentales de la funcionalidad de adaptación del enlace HSDPA son la modulación adaptativa y la codificación (AMC), transmisión de multicódigo (múltiples HS-PDSCH) y el rápido L1 HARQ. Con estos diferentes dominios para adaptación, la notación para la evolución del desempeño de HSDPA es ligeramente diferente del modo tradicional de uso de la Edición 99 DCH. WCDMA de la Edición 99 usa generalmente  $E_b/N_0$  para denotar “la razón de energía recibida por bit de usuario a ruido”. El  $E_b/N_0$  corresponde únicamente a un cierto bloque de tasa de error (Block Error, BLER) para una tasa de datos dada donde el único parámetro de adaptación es la ganancia de dispersión. Sin embargo, la métrica  $E_b/N_0$  no es una medida atractiva para HSDPA porque la tasa de bit en el HS-DSCH es variable para cada intervalo de transmisión (TTI) usando diferente modulación para el programador de eventos, tasas de código efectivo y número de códigos HS-PDSCH. Por lo tanto define el promedio como la Razón de Señal a Interferencia Más Ruido (Signal-to-Interference-Plus-Noise Ratio, SINR).

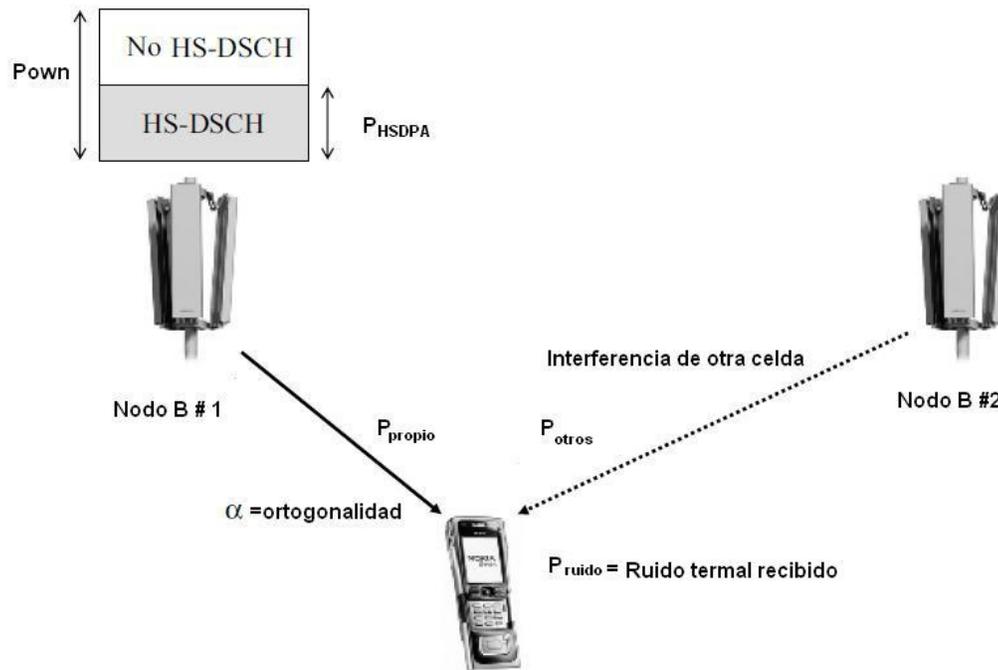


Figura 4.1 Factores del desempeño HSDPA

Referido a la notación en la Figura 4.1, se puede expresar el promedio HS-DSCH SINR para una única antena de barrido de receptor como:

Fórmula 1.

$$SINR = SF16 \frac{P_{hs-dsCH}}{(\alpha - \infty) \cdot P_{own} + P_{other} + P_{ruido}}$$

Donde SF16 es el HS-PDSCH factor de dispersión de 16,  $P_{hs-dsCH}$  es la potencia recibida de la suma HS-DSCH sobre todos los códigos HS-DPSCH activos,  $P_{own}$  es la interferencia recibida por la propia celda,  $\infty$  es el factor de ortogonalidad del enlace de bajada (Mayor información de este parámetro puede encontrarse en [1] y [2]),  $P_{other}$  es la interferencia recibida desde otra celda, y  $P_{noise}$  es la potencia de ruido recibida. En algunos documentos 3GPP, la interferencia de la propia celda es

denotada como  $I_{or}$  mientras que la interferencia de otras celdas es expresada como  $I_{oc}$ . Es de notar desde (4.1) que el HS-DSCH SINR es independiente del número de códigos HS-PDSCH usado, el esquema de modulación y la tasa de código efectiva. La métrica HS-DSCH SINR es una medida esencial para el planeamiento del enlace HSDPA y el dimensionamiento de la red. Otro parámetro afín es la razón del ancho de banda de la propia celda hacia otra celda más ruido de interferencia para el usuario, el Factor de Geometría es definido como:

Fórmula 2.

$$G = \frac{P_{own}}{P_{other} + P_{noise}}$$

#### 4.4. Desempeño de Usuario HSDPA

##### 4.4.1. Modulación Básica y Desempeño de Codificación

HSDPA provee modulación adaptativa y codificación para ajustar la tasa de datos a la calidad del canal disponible. Para maximizar cobertura y robustez, es usada Modulación por Desplazamiento de Cuadratura de Fase (Quadrature Phase Shift Keying, QPSK) junto con baja tasa de turbo codificación y un único código HS-PDSCH. La Tasa Efectiva de Código (Effective Code Rate, ECR) puede ser disminuida a  $1/7=137/960$  significando que 137 bits son portados usando 960 canales de bits por TTI de código HS-PDSCH. Valores de ECR menores que  $1/3$  son alcanzados usando repetición de códigos como puede encontrarse en la referencia [3]. Cuando las condiciones del canal son mejores, la potencia puede ser dividida entre muchos HS-PDSCHs para asegurar el punto de operación SINR efectivo para cada código. Para cada condición SINR, es empleado 16QAM con un canal de codificación pequeño. Para ilustrar el rango dinámico del sistema, considerando el ejemplo de modulación y codificación establecido en la Tabla 4.1. El valor usado por el Formato de Transmisión y Combinación de Recursos (Transport Format & Resource Combination, TFRCs) denota los valores de

señalización del tamaño del bloque de transporte que es enviado sobre el HS-SCCH. Para la definición exacta ver referencia [2].

El desempeño del TFRC arriba mencionado ha sido simulado usando las siguientes asunciones:

- Una única antena de barrido receptora en la UE.
- El equipo de usuario (UE) soporta 5, 10, 15 códigos HS-PDSCH y 16QAM.
- Un Max-Log\_MAP turbo decoder usando ocho interacciones.
- Canal Piloto Común Primario (Primary common Pilot Channel, P-CPICH) basado en estimación de canal.
- La interferencia de otra celda es modelada usando Ruido Aditivo Blanco Gaussiano<sup>25</sup> (Additive White Gaussian Noise, AWGN).
- La velocidad de la UE es de 3 km/h.

El enlace entre la primera probabilidad de error del bloque de transmisión (Block Error Probability, BLEP) y el HS-DSCH SINR disponible es mostrado en la Figura 4.2 para un canal de lenta movilidad. Cada curva relacionada a los TFRCs de la Tabla 4.1 con curvas hacia la derecha indicando una tasa de transmisión de datos alta. Hay un punto de cruzamiento alrededor de ECR=3/4 cuando es mejor emplear 16QAM con fuerte codificación en lugar del uso de QPSK con codificación reducida.

---

<sup>25</sup> Es el ruido cuya densidad de probabilidad responde a una distribución de Gauss.

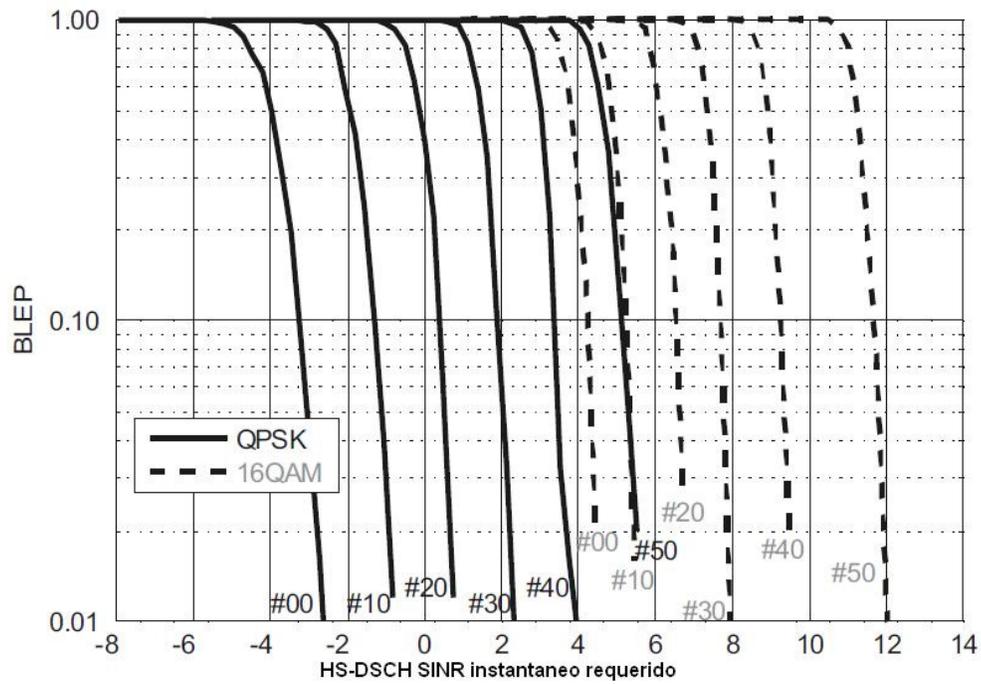


Figura 4.2 Ploteado del Bloque de Probabilidad de Error (Block Error Probability, BLEP) como un función del HS-DSCH SINR instantáneo. El BLEP es mostrado para los parámetros dados en la Tabla 4.1. Esta simulación es establecida para un receptor RAKE 1 x 1 usando un canal AWGN.

Tabla 4.1 Ejemplo de Formato de Transmisión y Combinación de Recursos (TFRCs).

<b>TFRC</b>	<b>Modulación</b>	<b>Taza de Código Efectiva</b>	<b>Taza de datos Instantánea con un Código HS-PDSCH [kbps]</b>
#00	QPSK	0.14	68.5
#10	QPSK	0.27	128.5
#20	QPSK	0.39	188.5
#30	QPSK	0.52	248.5
#40	QPSK	0.64	308.0
#50	QPSK	0.77	368.5
#00	16QAM	0.32	302.5
#10	16QAM	0.38	362.0
#20	16QAM	0.45	433.0
#30	16QAM	0.54	518.0
#40	16QAM	0.65	619.5
#50	16QAM	0.77	741.5

El resultado presentado en la Figura 4.2 es para el caso de HS-PDSCH mostrando la modulación básica y desempeño de codificación sin adaptación de enlace. La adaptación de enlace selecciona la modulación y el esquema de

codificación para que la transferencia de datos y el desfase sean optimizados por la tasa de transferencia para la primera transmisión cuando el enlace de adaptación es incluido.

Se debe de notar que decrementos en ciertos puntos en el SINR son requeridos en la Figura 4.3 cuando incrementa la tasa de datos, especialmente esos puntos entre SINR 0 y 5 dB. Esos pasos indican los puntos cuando el número de códigos HS-PDSCH son incrementados de uno a dos, de dos a tres, etc.

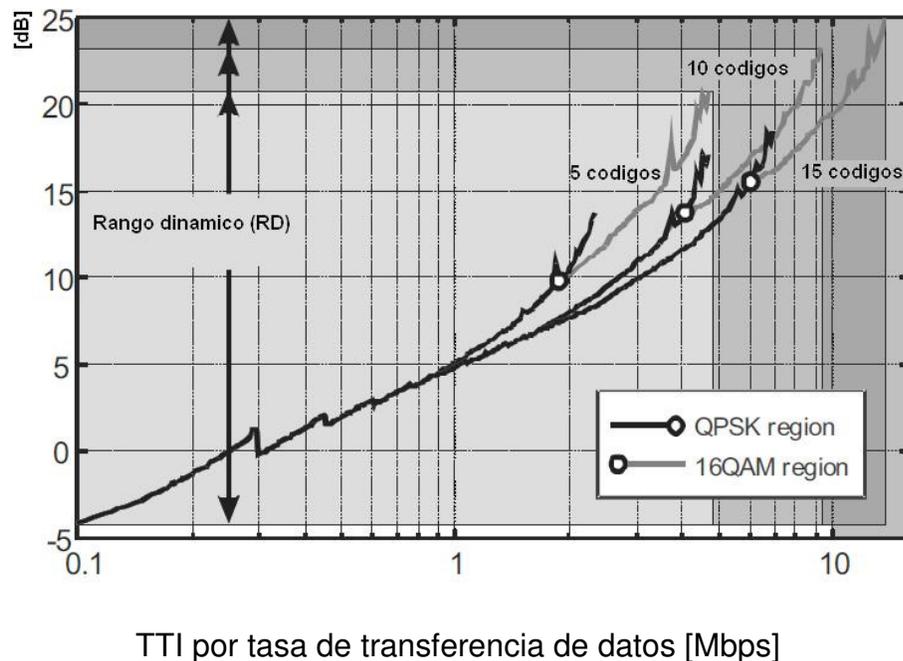


Figura 4.3 La figura muestra el HS-DSCH SINR requerido para alcanzar cierta tasa de transferencia de datos para la primera transmisión.

Las curvas con 5, 10 y 15 códigos siguen a la otra hasta aproximadamente 1 Mbps. En las tasas de datos más altas 10 y 15 códigos requiere menor SINR que 5 códigos. La razón es que 5 códigos de transmisión tienen monto de canales de codificación reducido, lo cual empuja a una menor eficiencia espectral que el caso cuando se emplea más HS-PDSCHs. Lo mismo es verdad comparando las curvas para 10 y 15 códigos para tasas de datos debajo de 2-3 Mbps.

La Figura 4.3 también muestra cuando modulación QPSK o 16QAM es preferido. Para un bajo SINR, QPSK es preferido, mientras para un SINR alto, 16QAM es requerido para proveer una tasa de datos alta. Para transmisión de 5 códigos, 16QAM es preferido cuando el SINR instantáneo es más alto que 10dB.

La curva indica que con 5 códigos HS-PDSCH y 16QAM, el rango dinámico HS-DSCH es igual a 20 dB. Incrementando el número de códigos HS-PDSCH hasta 15, el rango dinámico total es incrementado hasta 24dB. Durante el dimensionamiento de la red HSDPA es importante establecer la potencia de transmisión del Nodo B HS-DSCH tal que la HS-DSCH SINR experimentado por los diferentes usuarios en la celda está dentro del rango dinámico HS-DSCH. Estableciendo la potencia de transmisión HS-DSCH demasiado alta resultará en excesiva interferencia en la red sin alcanzar la transferencia de datos más alta en la celda HSDPA si muchos de los usuarios operan en lo alto del rango dinámico. De igual manera, si la potencia de transmisión HS-DSCH es demasiado baja, la tasa de transmisión más alta no puede ser alcanzada en la red.

#### **4.4.2. Desempeño HS-DSCH**

La Figura 4.4 muestra el nivel de desempeño del enlace HS-DSCH con 15 códigos como una función de la razón de portadora a interferencia (Carrier to interference, C/I) del ancho de banda HS-DSCH. El ancho de banda C/I es la potencia recibida de HS-DSCH dividido entre el ruido y la interferencia sin dispersión del espectro. La tasa de datos HS-DSCH es comparada con la Teoría de la Capacidad de Shannon<sup>26</sup> para un ancho de banda de 3.84 Mhz. La fórmula de Shannon da la máxima tasa de datos libre de error que puede ser transmitida con un ancho de banda específico con la presencia de ruido e interferencia como se muestra en la referencia [4]. Solo hay un aproximado de 2 dB de diferencia entre el límite de Shannon y el desempeño simulado para HS-DSCH, principalmente dado a

---

<sup>26</sup> Es un teorema de la codificación para canales con ruido, que establece la máxima cantidad de datos digitales, que pueden ser transmitidos sin error.

las limitaciones de decodificación y a la estimación de recepción incorrecta. Resultados de las simulaciones muestran que el desempeño del enlace HSDPA se aproxima a los límites teóricos.

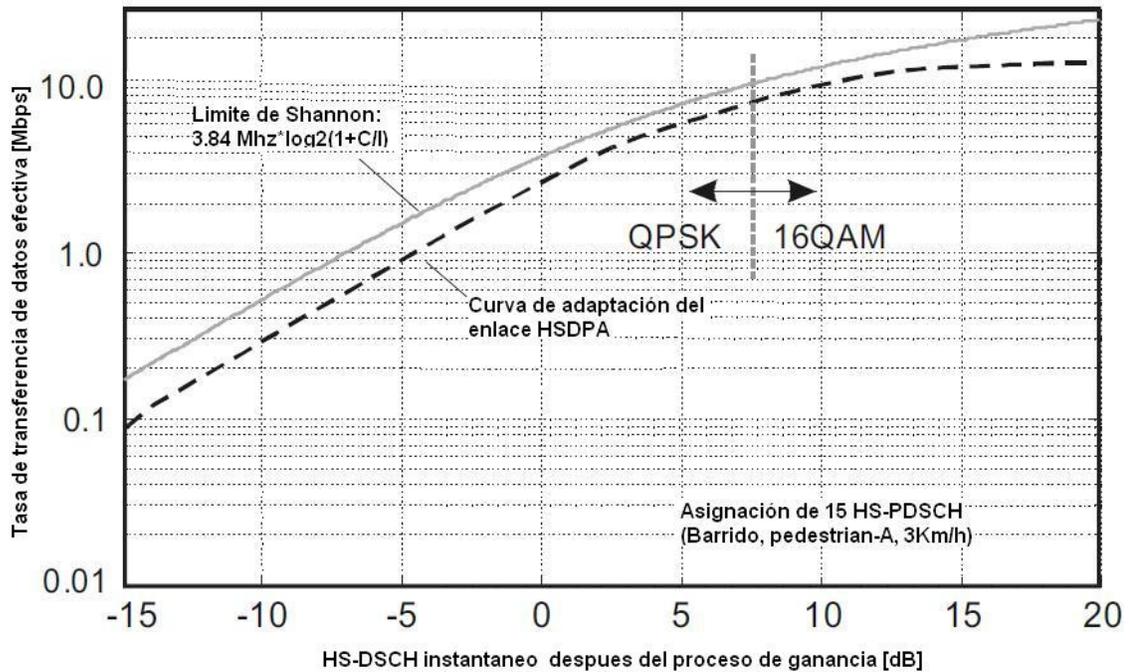


Figura 4.4 Tasa de transferencia de datos HSDPA comparada con el límite de Shannon como una función de un HS-DSCH C/I promedio.

EL posible margen de error en la adaptación del enlace es parcialmente compensado por el uso de HARQ con combinación suave, la energía proveniente de transmisiones erróneas ayudan a mejorar la probabilidad de corregir la decodificación de retransmisiones. Los aspectos de desempeño de HARQ han sido estudiados en la referencia [5]. HSDPA soporta tanto redundancia incremental como simple combinación de persecución. Redundancia incremental provee ganancia adicional sobre combinación de persecución cuando la tasa de código efectivo de la primera transmisión excede 1/3. El nivel de enlace de adaptación típico previsto es de 10% BLER después de la primera transmisión.

La Figura 4.5 muestra el promedio de transmisión de datos para un único usuario incluyendo adaptación de enlace y HARQ como una función del promedio experimentado por HS-DSCH SINR. Los resultados son mostrados para 5, 10 y 15 códigos. Un promedio de HS-DSCH SINR de 23 dB es requerido para alcanzar la máxima tasa de transmisión de datos de 3.6 Mbps con 5 códigos HS-PDSCH, y sobre 30 dB para 10 Mbps con 15 códigos.

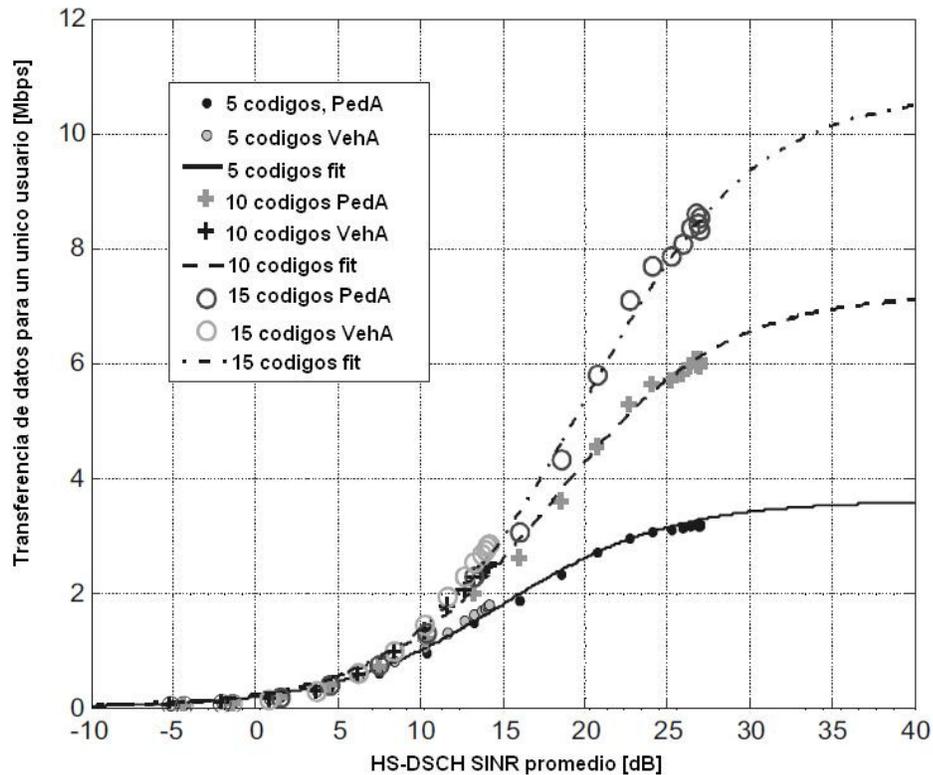


Figura 4.5 Velocidad de transferencia de datos como una función del Hs-DSCH SINR promedio. El efecto de adaptación del enlace y HARQ son incluidos en estos resultados.

Las curvas son muy similares para diferentes perfiles multirayectoria. Es de notar que con una razón de interferencia de propia celda a otra celda, el SINR no es constante pero depende del número de factores incluyendo ortogonalidad y capacidades del UE receptor. Estos factores deben de ser considerados cuando se

calcula el valor para el SINR. El beneficio del modelo SINR viene dado porque el mapeo hacia la tasa de transmisión es constante para los diferentes ambientes y diferentes capacidades del UE receptor.

El resultado en la Figura 4.5 puede ser usado para el presupuesto de planeación de enlace HSDPA y dimensionamiento de la red, el HS-DSCH SINR requerido es dado para diferente número máximo de códigos HS-PDSCH y de transferencia de datos HS-DSCH. Como ejemplo, la transferencia de datos de un usuario HSDPA tiene objeto solo para la interface de la propia celda y ruido termal<sup>27</sup> recibido, esto, sí no hay interferencia de otra celda. Otras asunciones básicas son resumidas en la Tabla 4.2.

Tabla 4.2. Simulación Básica de Parámetros Usados para los Resultados Presentados en la Figura 7.6.

<b>Parámetros</b>	<b>Ajustado</b>
<b>Potencia total de Tx de Nodo B</b>	12 W
<b>Perdida en cable Nodo B</b>	4 dB
<b>Ganancia de antena en Nodo B</b>	18 dBi
<b>Ganancia de antena de UE</b>	0 dBi
<b>Potencia de ruido termal en UE</b>	-101 dBm
<b>Asignación de códigos HS-PDSCH</b>	5
<b>Asignación de potencia HS-PDSCH</b>	3 o 7 W
<b>Potencia Tx P-CPICH</b>	2 W

<sup>27</sup> Es el ruido generado por el equilibrio de las fluctuaciones de la corriente eléctrica dentro de un conductor eléctrico.

Dadas esas asunciones, la transferencia de datos para un usuario HS-DSCH es planteado en la Figura 4.6 contra los patrones de pérdida. Un patrón de pérdida de 160 dB en la transferencia de datos es aproximadamente 200-400 kbps dependiendo de la asignación de potencia HSDPA. Para valores de patrones de pérdida pequeños, la transferencia de datos incrementa. Para un patrón de pérdida más pequeño que 140 dB, la transferencia de datos HSDPA es limitado por la interferencia inter-trayectoria y es de otra manera mucho más baja para el canal Vehicular A que para el canal Pedestrian A. Para un patrón de pérdida de 140 dB en el perfil del canal Pedestrian A, la transferencia de datos HSDPA es igual a 3 Mbps, y puede ser visto así siempre para valores más bajos de patrones de pérdida.

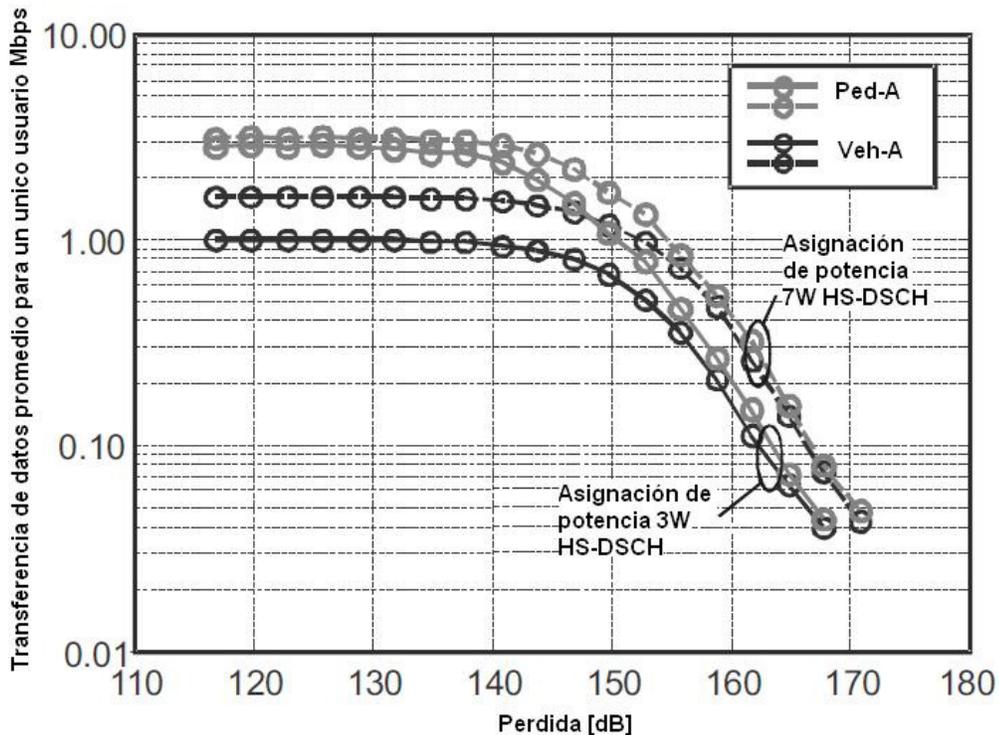


Figura 4.6 Ploteado de la transferencia de datos promedio para un único usuario como una función del patrón de pérdida.

Lo siguiente a considerar para HSDPA es cuando se incluye el efecto de la interferencia de otra celda. Asumiendo que el factor G del límite de la celda es

conocido, los resultados en la Figura 4.5 pueden ser usados como entrada para dimensionar la potencia de transmisión requerida en el Nodo B del HS-DSCH que garantice una mínima transferencia de datos HS-DSCH en los límites de la celda. Re-ordenando (4.1), se puede expresar el HS-DSCH SINR promedio como:

Fórmula 4.3

$$SINR = SF_{16} \frac{R_{HS-DSCH}}{P_{OWN}} \cdot \frac{1}{1 - \infty + G^{-1}}$$

De donde se puede escribir:

Fórmula 4.4

$$P_{HS-DSCH} \geq SINR [1 - \infty + G^{-1}] \cdot \frac{P_{OWN}}{SF_{16}}$$

Donde  $P_{hs-dsch}$  y  $P_{own}$  son la potencia de transmisión HS-DSCH del Nodo B y la potencia de transmisión de portadora total, respectivamente. Así, para el límite de cobertura de una macro celda típica con  $G=-3$  dB,  $\infty=0.5$  y  $P_{own} = 12$  W, se puede calcular la potencia de transmisión mínima requerida para HS-DSCH en los límites de cobertura de la celda. Como ejemplo, la potencia de transmisión HS-DSCH debe ser igual a 5.6 W si la transferencia de datos requerida en el HS-DSCH en el límite de cobertura de la celda necesita ser de 200 kbps, que es lo correspondiente a un HS-DSCH SINR requerido de 5 dB de acuerdo con la Figura 4.5.

#### 4.4.3. Desempeño HS-SCCH

La probabilidad de error de HS-SCCH debe de ser baja ya que HS-DSCH solo puede ser decodificada por la UE si el HS-SCCH es primero recibido correctamente. Los resultados de la simulación de enlace ilustrando el HS-SCCH BLEP contra SINR por TTI son mostrados en la Figura 4.9. El HS-SCCH SINR es el SINR

efectivo después del des-ensanchamiento del HS-SCCH incluyendo el efecto del factor de ortogonalidad y la ganancia de procesamiento de 128. Para una velocidad del UE hasta de 50 km/h, el SINR requerido para alcanzar un BLEP de 1% varía entre 1 y 3 dB. Asumiendo un SINR objetivo para el HS-SCCH de 1.5 dB, el encabezado HS-SCCH es medido en términos de potencia de transmisión para el HS-SCCH requerido en el Nodo B, suponiendo una potencia de control para el HS-SCCH en cada TTI dependiendo del programador de eventos de usuario y el HS-SCCH SINR experimentado.

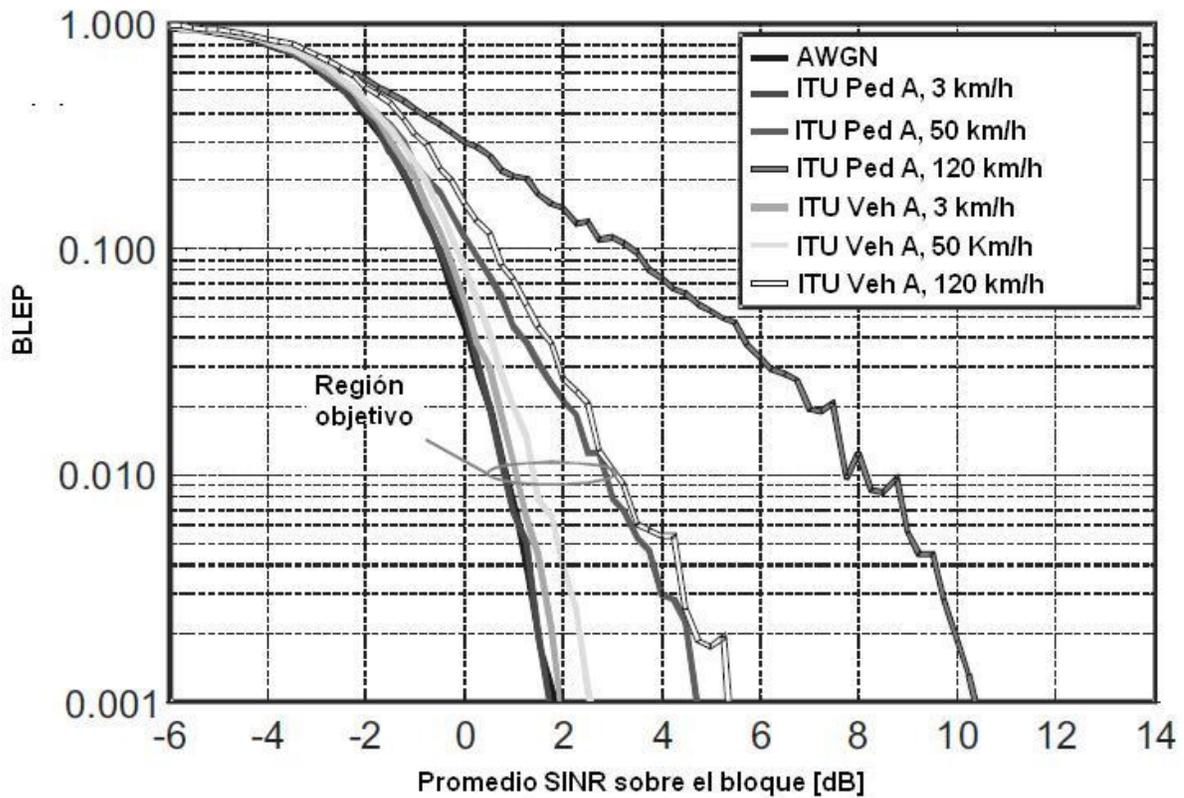


Figura 4.9 Desempeño de decodificación HS-SCCH VS HS-SCCH SINR promedio recibido.

#### 4.4.4. Desempeño de HS-DPCCH de Enlace de Subida

El enlace de subida HS-DPCCH es controlado por potencia relativa al enlace de subida DPCCH en cada intervalo de slot. La relación de potencia entre el DPCCH y el HS-DPCCH es dada por los parámetros  $[A_{ack}; A_{nack}; A_{cqi}]$ , los cuales son establecidos por la RNC vía el Control de Recursos Radio (Radio Resource Control, RRC) mediante señalización hacia el UE. La potencia de compensación puede ser hasta de 6 dB dentro de nueve posibles pasos de cuantización como se muestra en la referencia [5]. La potencia de compensación  $[A_{ack}, A_{nack}, A_{cqi}]$  debe ser seleccionada para completar los requerimientos de probabilidades de detección del enlace de subida HS-DPCCH. El valor normal para la compensación es definido en términos de la probabilidad de pérdida de detección. Valores comunes son  $P_{ack \rightarrow nack} < 10^{-2}$  y  $P_{nack \rightarrow ack} < 10^{-3}$ . La probabilidad de decodificar un NACK como un ACK tiene que ser lo más bajo posible ya que causa pérdida de retransmisión L1 y los datos tienen que ser retransmitidos por la capa RLC.

El control de potencia de enlace de subida en soft handover está basado en la mejor conexión de enlace de subida, que es, sí una de las celdas recibe un nivel de señal suficientemente alta, la potencia del móvil puede ser disminuida. El HS-DPCCH, sin embargo, es recibido solo por la celda servidora HS-DSCH y el nivel de potencia recibida del HS-DPCCH pueden ser demasiado bajo sí la celda no tiene instantáneamente la mejor conexión de enlace de subida. Por lo tanto, mucha potencia de compensación HS-DPCCH es requerida en soft handover. Sí la potencia de compensación máxima de 6 dB no es suficiente para mantener la calidad de HS-DPCCH, las especificación de 3GPP permiten el uso de repetición de ACK/NACK. Para usuarios HSDPA en soft handover, es recomendado el uso de una potencia de compensación para HS-DPCCH de 6 dB y repetición de ACK/NACK resultando en una ganancia adicional de aproximadamente 3 dB.

#### **4.4.5. Velocidad de Transmisión de Datos por Usuario.**

La velocidad de transferencia de datos HSDPA experimentada por usuario depende del número de usuarios HSDPA asignados por celda que comparten el HS-DSCH común. La función de distribución de la transferencia de datos de HSDPA experimentada por usuario es reportado en la Figura 4.10, asumiendo 7 W de asignación de potencia HSDPA y cinco códigos HS-PDSCH, mientras la potencia sobrante es usada por los canales de transmisión de la Edición 99. Como es de esperarse, la velocidad de transferencia de datos de HSDPA decrece a medida que aumenta el número de usuarios asignados por celda. El promedio de la disminución de la velocidad de transmisión de datos con HSDPA no es inversamente proporcional al número de usuarios HSDPA asignados. Como un ejemplo, la velocidad de transferencia de datos para usuarios HSDPA a un 50% de su capacidad es igual a 400 kbps y de 270 kbps para uno y tres usuarios HSDPA por celda, respectivamente. La razón para eso es que la ganancia de diversidad de multiusuario incrementa con más usuarios. Usuarios experimentando altas tasas de transferencia de datos están generalmente cerca de la celda servidora HS-DSCH, mientras usuarios servidos con bajas tasas de velocidad están típicamente en la orilla del área de cobertura de la celda servidora.

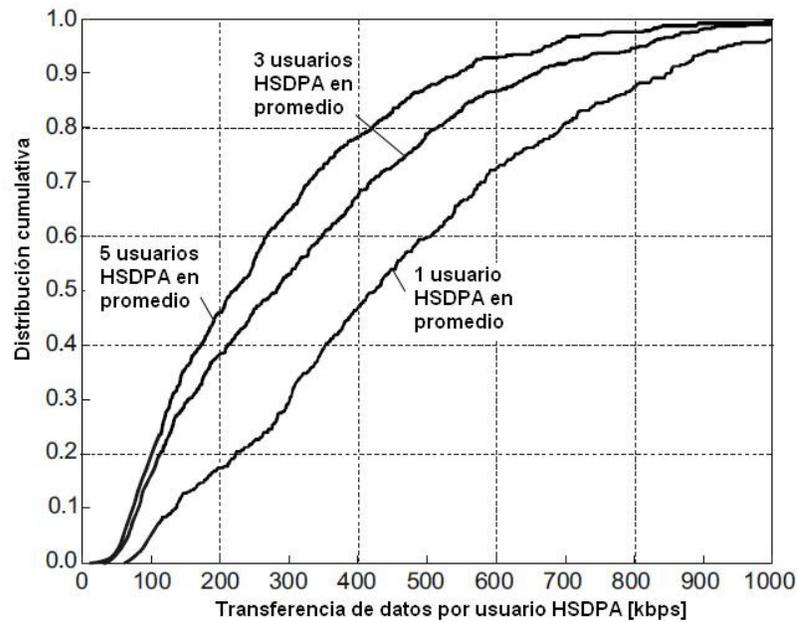


Figura 4.10 Distribución acumulativa en función de la transferencia de datos HSDPA experimentada por usuario para diferente número de usuarios HSDPA por celda. La potencia HSDPA asignada es de 7 W.

#### 4.5. Topología de Celda

La topología de las celdas impacta directamente al desempeño de HSDPA. El establecimiento de micro celdas es caracterizado por el alto aislamiento entre celdas vecinas lo cual resulta en menos interferencia desde otras celdas al igual que menos multitrayectoria de propagación. El promedio de velocidad de transferencia HSDPA en la celda es de este modo encontrado para incrementar desde 2.2 Mbps para macro-celdas hasta 4.8 Mbps para micro celdas. La transferencia más alta en la celda HSDPA en micro celdas es alcanzada porque el HS-DSCH SINR para la mayoría de los usuarios es lo suficientemente alto para permitir transmisión frecuente usando modulación 16QAM.

#### 4.6. Eficiencia de Transmisión lub

Esta sección mostrará como la tecnología HSDPA puede mejorar la eficiencia de transmisión lub y ayudar a reducir el costo por bit transmitido en HSDPA comparado con WCDMA. Ahora, muchas operadoras usan para la transmisión el Modo de Transferencia Asíncrona (Asynchronous Transfer Mode, ATM) en la lub, lo anterior se asumirá para el subsecuente análisis, aunque transmisión basada en IP es también soportada por las especificaciones 3GPP. La mejora de la eficiencia lub para HSDPA viene de los siguientes factores:

- Compartimiento dinámico a alta velocidad del ancho de banda HSDPA lub asignado entre los usuarios HSDPA activos. Esto es alcanzado por el uso de control de flujo MAC-hs a alta velocidad. Con la Edición 99 el ancho de banda lub es asignado separadamente por usuario, lo cual dificulta compartir dinámicamente el exceso de capacidad durante periodos con baja actividad, por ejemplo durante tiempos cortos de lectura por aplicación de buscadores web por ejemplo.
- Buffer de datos en el Nodo B significa que la transmisión con altos picos de tasa de datos en la interface aire puede ser soportado con HSDPA sin requerir un ancho de banda alto. También implica que periodos cortos de tiempo con congestión lub no necesariamente resulta en el des-uso de las capacidades de la interface aire.
- HSDPA no necesita soft handover, los datos transmitidos para un usuario HSDPA son solo enviado una vez sobre un único lub. WCDMA Edición 99 realiza soft handover, donde multiples enlaces lub son requeridos por los usuarios en soft handover.

Asumiendo un estándar cercano a un lazo de Protocolo de Control de Transmisión (Transmission Control Protocol, TCP) para el modelo de trafico de un buscador web y un ambiente de macro celda con tres sectores, en la referencia [6] es reportado que la eficiencia de lub es mejorada por un factor de 2 para HSDPA comparado con WCDMA. Esto es una mejoría significativa, lo cual básicamente

significa que dos bits de usuario pueden ser transmitidos a través del mismo lub con HSDPA comparado con el usado en la Edición 99 WCDMA. En orden de direccionar el dimensionamiento de lub para HSDPA. El flujo de control desde los nodos es mostrado en la Figura 4.11.

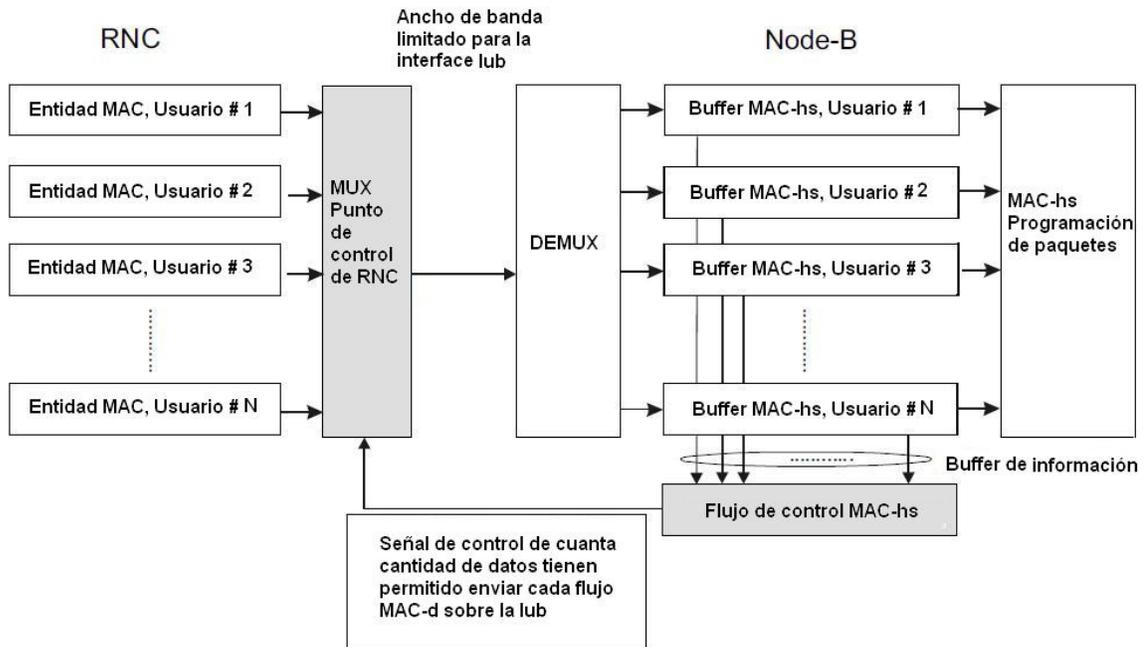


Figura 4.11 Diagrama de bloques para la simulación establecida con limitado ancho de banda para la interface lub y flujo MAC-hs.

#### 4.7. Tiempo de Viaje de Ida y vuelta (Viaje Redondo)

Mientras la tasa máxima de transferencia de datos es usada como referencia para el sistema radio, esto no es medida suficiente para describir el desempeño radio desde el punto de vista de la aplicación. La pura tasa de transferencia de datos es relevante sí se considera el tiempo de descarga de un archivo grande, pero hay un número de aplicaciones con las cuales una tasa de transferencia de datos relativamente baja es suficiente, de 10-30 kbps pero que requieren muy poca latencia. Tales aplicaciones incluyen Voz sobre IP, push to talk y juegos en tiempo

real. También aplicaciones interactivas como buscadores web precisan de baja latencia. Esta sección presenta la latencia típica en redes WCDMA/HSDPA.

La latencia puede ser medida como el Tiempo de Viaje de Ida y Vuelta (Round Trip Time, RTT), lo cual es definido como el tiempo que un paquete IP toma para viajar desde el terminal a través de todos los elementos de la red hacia el servidor de la aplicación y regresar. Sí el tamaño del paquete IP es pequeño, la tasa de datos no afecta al desfase, pero el desfase es entonces definido solo por la estructura del marco (frame), por el procesamiento en los elementos y los desfases de las interfaces. RTT está definido pictóricamente en la Figura 4.12.

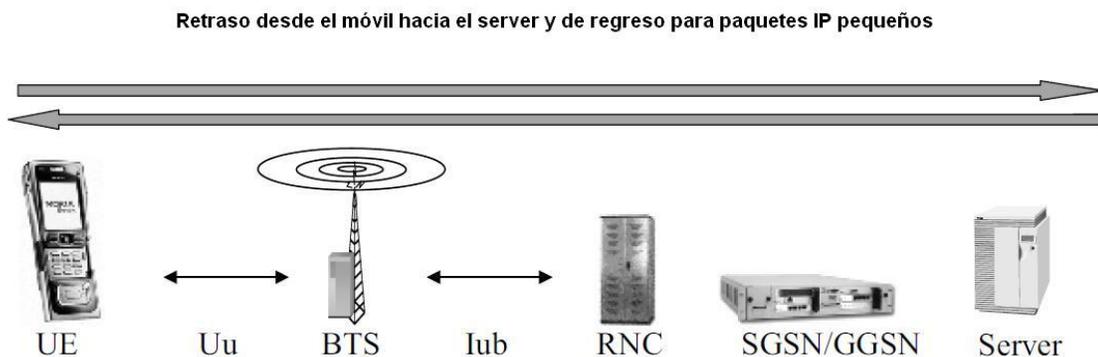


Figura 4.12 Definición de tiempo en viaje de ida y vuelta (RTT).

Para la estimación de RTT, se usó las siguientes asunciones:

- Desfase del UE de 10-25 ms.
- Desfase del Nodo B de 10-15 ms.
- Desfase de interface aire, incluyendo el almacenamiento en el buffer de enlace de subida de 43-53 ms para Edición 99, 20 ms para HSDPA y 10 ms para HSUPA. La tasa de datos para WCDMA Edición 99 64/64 kbps enlace de subida/bajada asumiendo un TTI de 20 ms mientras 128/384 kbps asumiendo un TTI de 10 ms, HSUPA asumiendo un enlace de subida con TTI de 2 ms.

- Desfase de lub de 20-40 ms para Edición 99, 10 ms para HSDPA y 5 ms para HSUPA.
- Desfase de RNC de 20 ms para Edición 99 y 10 ms para HSDPA/HSUPA
- Desfase de interface lu más el del núcleo de red de 3 ms.

La evolución de RTT es mostrada en la Figura 4.13. El RTT para la Edición 99 es de 110-150 ms, para HSDPA 70 ms, y para HSUPA <50 ms. El desfase es principalmente causado por los elementos radio de la red e interfaces mientras que el desfase del núcleo de red es muy pequeño. El desfase de la capa MAC RTT con HSDPA+HSUPA es muy pequeño, aproximadamente de 10 ms, y el RTT total depende principalmente en procesos de desfase en los elementos de la red y en la UE.

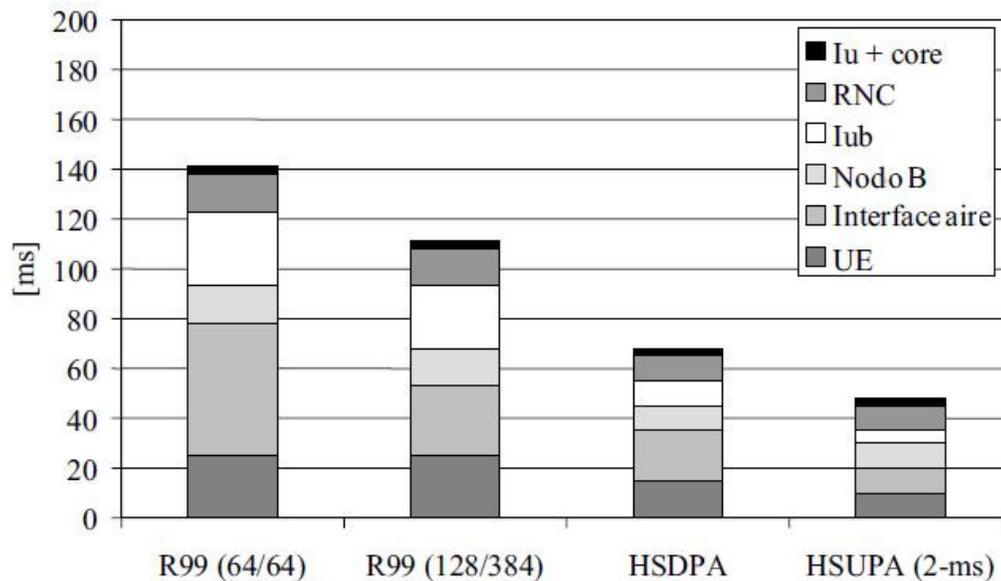


Figura 4.13 Evolución estimada del tiempo del viaje de ida y vuelta (RTT).

#### 4.8. Factores Generales de Desempeño de HSUPA

El desempeño de HSUPA depende altamente del escenario seleccionado, el despliegue y parámetros de servicio, en el mismo sentido como HSDPA. Muchos de

los parámetros esenciales son similares a los explicados para HSDPA. Los más significantes son brevemente mencionados:

- Algoritmos de Red, algoritmos específicos de HSUPA como Nodos B basados en programador de eventos para paquetes, asignación de recursos HSUPA y cambio de algoritmo de celda servidora.
- Despliegue de Escenario, los niveles de interferencia presentes en la celda definidos por factores tales como pérdidas de propagación, interferencia de otras celdas y propagación de multitrayectoria.
- Capacidad de Transmisión de Equipo de Usuario (UE), la tasa máxima de bit soportado y potencia máxima transmitida.
- Capacidad y Desempeño de Receptores en Nodo B, número de antenas receptoras, tipo de receptores y márgenes de implementación.
- Tráfico, mezcla de canales dedicados (DCH), tráfico HSUPA, tipo de tráfico, cadena de datos contra mensajes, y número de usuarios.

#### **4.8.1. Desempeño de un único usuario HSUPA**

El desempeño del enlace de un Canal Dedicado de Enlace de Subida Mejorado (Enhanced Uplink Dedicated Channel, E-DCH) es estudiado en esta sección. Los Canales de Referencia Fijos (Fixed Reference Channels, FRC) son un grupo de configuraciones de canales E-DCH definidos en 3GPP para llevar a cabo pruebas. Estos son definidos en la referencia [7] y mostrados en la Tabla 4.3.

Tabla 4.3. Canales de Referencia Fijos (FRCs) Definidos por E-DCH.

FRC	TTI (ms)	Tamaño de bloque de transporte (bits)	Códigos	Taza de Códigos	Taza de Bit Máxima	Categoría de UE
1	2	2688	2*SF4	0.71	1353	2
2	2	5376	2*SF2	0.71	2706	4
3	2	8064	2*SF4+2*SF2	0.71	4059	6
4	10	4800	1*SF4	0.53	508	1
5	10	9600	2*SF4	0.51	980	2 y 3
6	10	19200	2*SF4	0.51	1960	4 y 5
7	10	640	1*SF16	0.29	69	1

De FRC1 a FRC3 usan un TTI de 2 ms, mientras que los otros FRCs son especificados para un TTI de 10 ms. La máxima tasa de bit varia con el número de códigos, FRC3 provee un pico de tasa de bit de más de 4 Mbps. El desempeño 3GPP requerido usando estos FRCs son especificados en la referencia [7]. Los requerimientos especifican un mínimo desempeño bajo ciertas condiciones.

Para cada FRC, existe un par de radios de potencia sugeridos entre el E-DPDCH, el E-DPCCH y el DPCCH. Las razones de potencia son llamadas "Factor Beta". El factor beta sugerido es definido como un promedio sobre los canales multitrayectoria. Los Factores Beta son resumidos en la Tabla 4.4. Esos Factores

Beta son diseñados para diversidad de antena de recepción mientras que 3 dB deben de ser agregados para una única antena de recepción.

Tabla 4.4 Factores Beta Definidos para Canales de Referencia Fijos.

	<b>E-DPDCH/DPCCH (dB)</b>	<b>E-DPCCH/DPCCH (dB)</b>
<b>FRC1</b>	9	2.05
<b>FRC2</b>	10	4.08
<b>FRC3</b>	6	0
<b>FRC4</b>	9	-1.94
<b>FRC5</b>	9	-1.94
<b>FRC6</b>	10	-5.46
<b>FRC7</b>	6	0

La Figura 4.14 muestra la tasa de transferencia de datos sin control de potencia como una función de la  $E_c/N_0$  recibida por la antena en la estación base. El desempeño de FRC2 con un TTI de 2 ms y FRC6 con un TTI de 10 ms es bastante similar. El FRC2 puede proveer un pico de transferencia de datos más alto cuando  $E_c/N_0$  es suficientemente alto. Para alcanzar las tasas de datos más allá de 2 Mbps, el receptor  $E_c/N_0$  necesita ser de aproximadamente 0 dB en este caso.

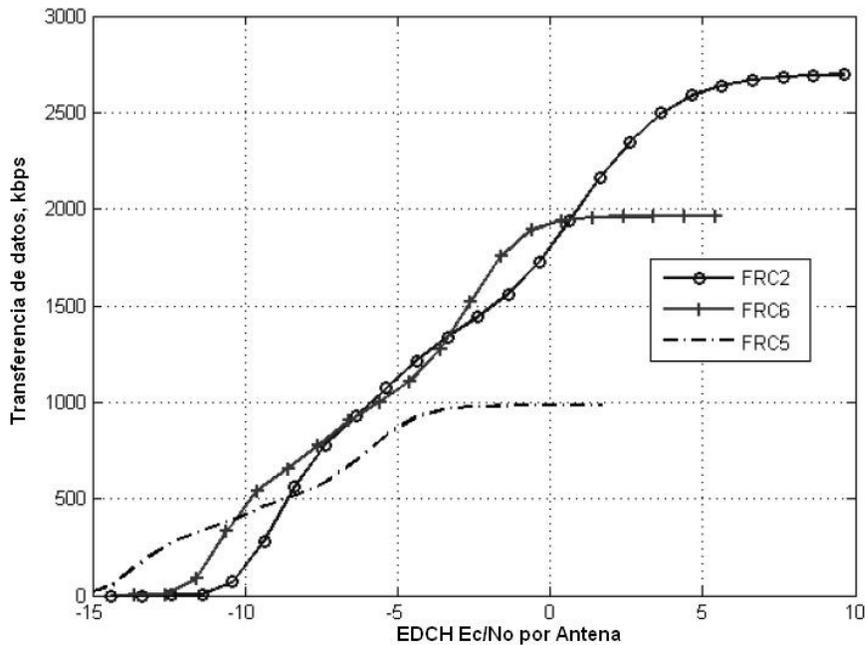


Figura 4.14 Transferencia de datos HSUPA en Vehicular A a 30 Km/h, no es usada potencia de control.

La fiabilidad del canal de control E-DPCCH debe de ser razonablemente alta para el desempeño apropiado de la decodificación de E-DPDCH. Si el E-DPCCH es perdido o el código de palabra es incorrecto, el buffer HARQ es fácilmente corrupto por una combinación suave inapropiada. La probabilidad de pérdida de detección debe de ser baja, preferiblemente  $< 0.2\%$ . Eso se refiere al caso donde la UE ha transmitido datos pero el Nodo B falla para recibir el E-DPCCH correctamente. La Figura 4.15 muestra la probabilidad de pérdida de detección en diferentes perfiles de multitrayectoria. Dado que E-DPCCH no porta codificador CRC, un canal de detección de potencia que aproxime a un límite mínimo (threshold) permitido se hace necesario. El límite mínimo (threshold) es definido como una “falsa alarma de tasa de transferencia”, la cual se refiere al caso donde datos no están siendo transmitidos por la UE pero E-DPCCH de código de palabra está siendo erróneamente detectado por el Nodo B receptor.

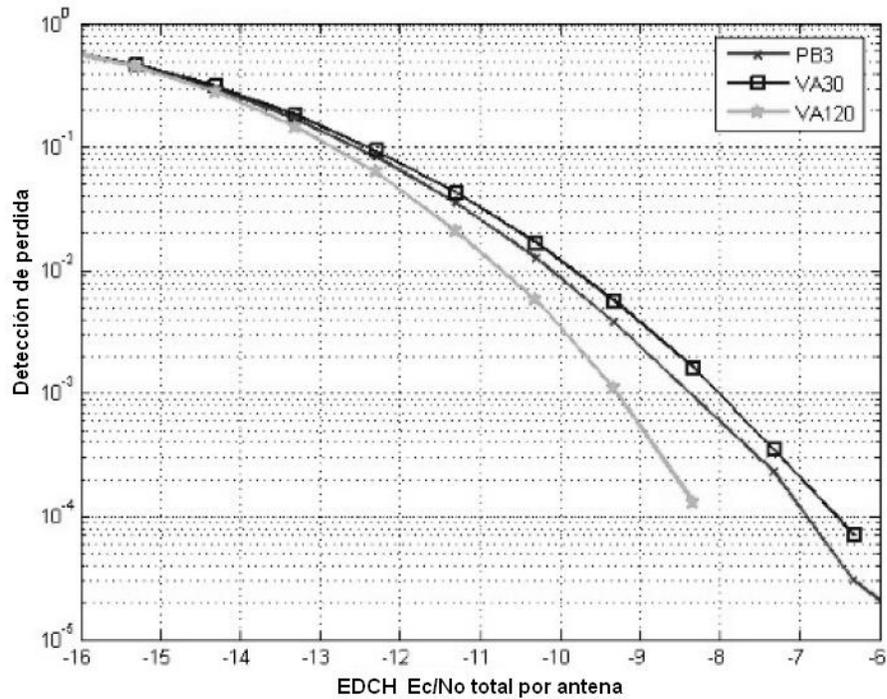


Figura 4.15 Detección de desempeño E-DPCCH DTX para un TTI de 2 ms.

Las simulaciones de enlace indican que el  $E_c/N_0$  recibido necesita ser relativamente alto para alcanzar tasas de dato altas. La Figura 4.16 muestra la curva de ruido de enlace de subida que es causado por un único usuario como una función del  $E_c/N_0$  recibido. Sí el  $E_c/N_0$  recibido es de 0dB, la señal y la potencia de ruido son casi iguales al que causa una curva de ruido de 3 dB en total. Sí el  $E_c/N_0$  recibido es de 5 dB, el único usuario podría causar una curva de ruido de 6 dB. Cuando la curva de ruido crece, el área de cobertura de la celda se reduce para otros usuarios simultáneamente en la misma portadora. Para limitar la curva de ruido y garantizar el área de cobertura, el  $E_c/N_0$  más alto no puede ser práctico en grandes macro celdas.

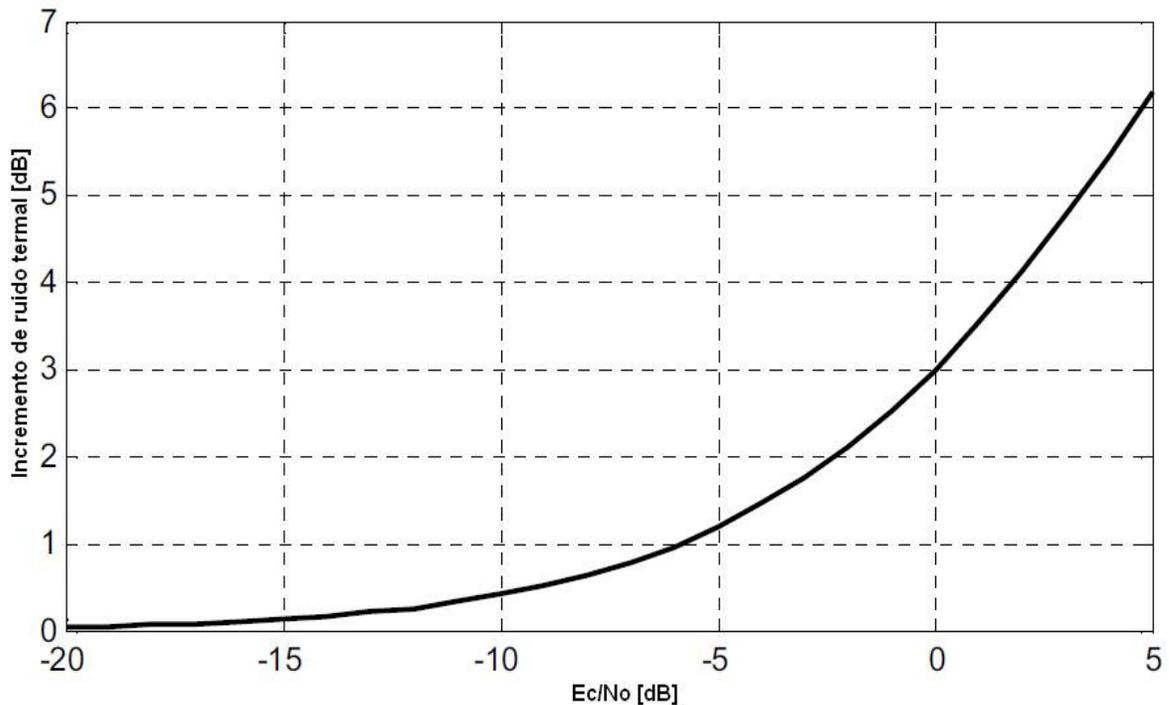


Figura 4.16 Incremento de ruido en enlace de subida causado por un único usuario como una función del  $E_c/N_o$  requerido.

#### 4.8.2. HARQ

El avance en el programador de eventos para la retransmisión de capa física emplea combinación suave de ganancia, redundancia incremental y bajo desfase de retransmisión, todas estas son algunas de las características centrales de HSUPA. La introducción del programador de eventos L1 HARQ tiene dos principales ventajas:

1. Las retransmisiones son más rápidas con L1 en HSUPA que con L2 RLC basado en retransmisiones en la Edición 99.
2. Combinación suave de retransmisiones es usada en HSUPA.

En otras palabras, las retransmisiones causan menos desfase y variación de desfase con L1 controladas por programador de eventos de retransmisión (asignado

en el Nodo B) que con L2 basado en programador de eventos de retransmisión (asignado en la RNC). Las rápidas retransmisiones permiten tener una alta probabilidad de retransmisión mientras mantiene el mismo desempeño de desfase de usuario. Esto impulsa a decrecer en los requerimientos de Eb/No y así se obtiene un incremento en la eficiencia espectral. Técnicas de combinación, tales como Caza de Combinación (Chase Combining, CC) y Redundancia Incremental (Incremental Redundancy, IR), pueden mejorar el desempeño del Nodo B controlado por programador de eventos de retransmisión.

A fin de investigar el impacto del programador de eventos en la retransmisión L1 y las técnicas de combinación en el desempeño de la transferencia de datos de usuario y celda, las siguientes definiciones son introducidas:

1. La Probabilidad de Bloque de Error (Block Error Probability, BLEP) es la probabilidad de detección de falla de un marco (frame) de datos en la primera transmisión. Esto es función del Eb/No usado en el algoritmo de control de potencia, al igual que la propagación y el ambiente de movilidad.
2. La Tasa de Borrado de Marco (Frame Erasure Rate, FER) es calculado sobre un periodo de tiempo suficiente y es definido como:

Fórmula 4.5

$$FER = 1 - \frac{\text{Frame\_de\_dato\_recibido\_correctamente\_}}{\text{Total\_de\_frames\_recibidos}}$$

3. Finalmente, el Eb/No efectivo es definido como la razón del Eb/No requerido para la correspondiente tasa de transferencia de borrado de marco

Fórmula 4.6

$$\text{Eb/No Efectivo} = \frac{E_b/N_o}{1 - FER}$$

Para una razón de bit a ruido por energía recibida, la redundancia incremental provee un borrado de marco de baja tasa de datos como es en el caso cuando no se utiliza HARQ, así impulsando a una alta transferencia de datos. La ganancia de redundancia incremental (HARQ) claramente depende del punto de operación del sistema: los más altos  $E_b/N_0$  requeridos, la BLEP más pequeña en la primera transmisión y la ganancia desde HARQ más baja.

Siguiendo la definición de transferencia de datos a través de la celda descrito en la referencia [8], la eficiencia espectral del enlace de subida es inversamente proporcional a la  $E_b/N_0$  efectiva. El punto de operación óptimo depende generalmente del escenario de propagación y movilidad, al igual sí las técnicas de combinación son usadas o no. Los resultados reportados en la Figura 4.17 muestran como la eficiencia espectral del enlace de subida puede ser mejorada para incrementar el BLEP en la primera transmisión, lo cual mejora los requerimientos de  $E_b/N_0$ . Esto es posible dado a un bajo desfase de viaje de ida y vuelta con programación de eventos de retransmisión L1 permitiendo rápida recuperación desde la transmisión de errores. La ganancia de eficiencia espectral desde el incremento del BLEP en la primera transmisión del 1% al 10% es entre 0.6 y 0.7 dB, correspondiendo a la transmisión de datos dentro de la celda incrementando aproximadamente de 15-20%.

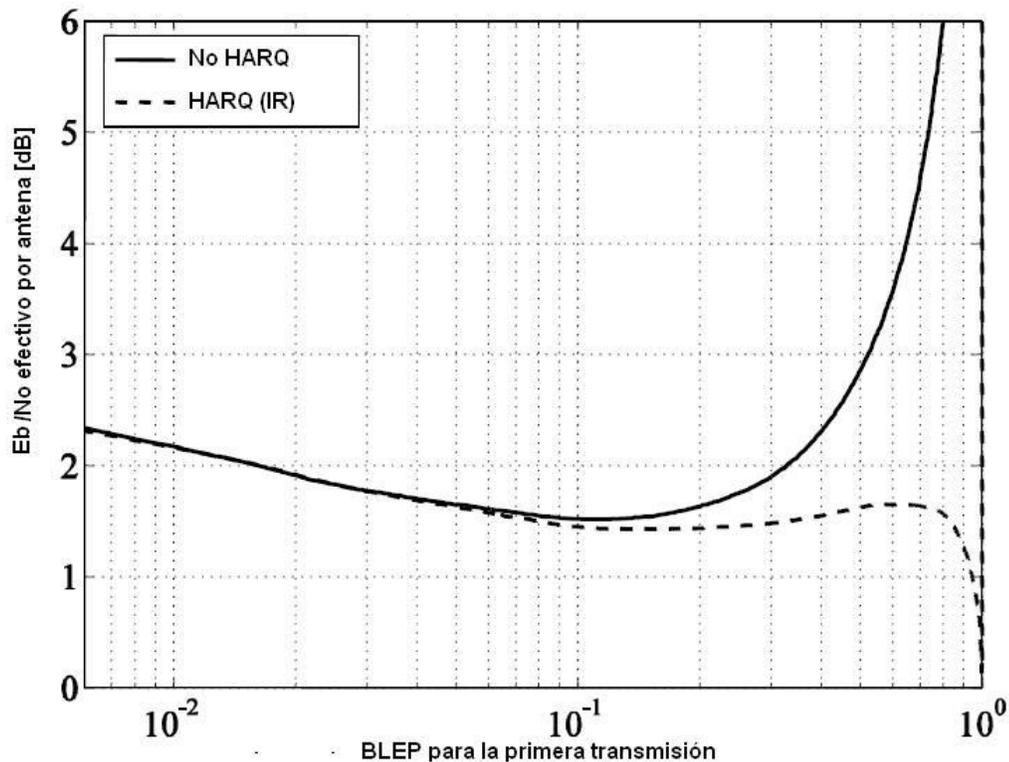


Figura 4.17 Eb/No efectivo vs BLEP para la primera transmisión para FRC5, Vehicular A a 30 km/h, con y sin HARQ.

La redundancia incremental puede ser exitosamente desarrollada para incrementar la eficiencia espectral del enlace de subida, a pesar de que la ganancia de HARQ es realmente apreciable solo para valores de FER encima de 50%. En la Figura 4.18, el Eb/No efectivo con redundancia incremental es minimizado alrededor de 300 kbps, lo cual corresponde a un FER aproximadamente del 70%, y a un BLEP de primera transmisión mayor de 90% en la Figura 4.17. Asumiendo que con retransmisiones RLC el canal físico está operando con una probabilidad de error de 1%, la ganancia de eficiencia espectral máxima del HARQ L1 es aproximadamente de 2 dB, correspondiendo a un incremento de la transferencia de datos en la celda de 60%. Sin embargo, el precio a pagar incrementa significativamente el desfase de transmisión y reduce la tasa de transmisión de usuario, al igual que mayor potencia de procesamiento en la estación base dado a múltiples retransmisiones.

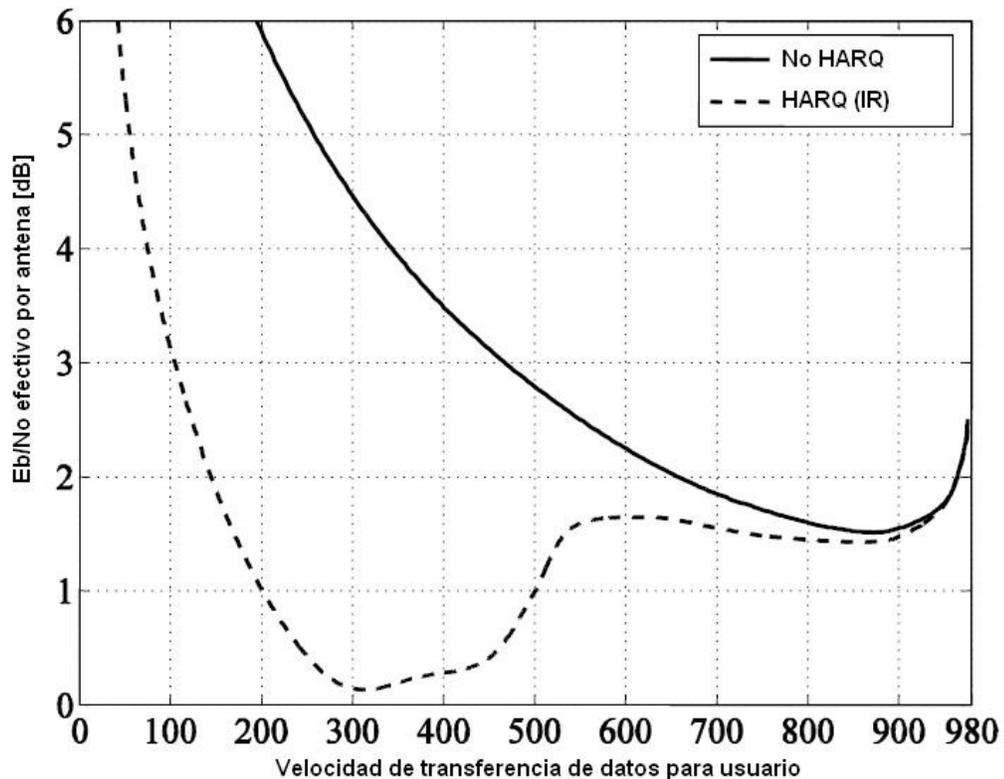


Figura 4.18  $E_b/N_0$  Efectivo como una función de la velocidad de transferencia de datos para FRC5.

#### 4.9. Programador de Eventos en el Nodo B

El Nodo B basado en programación de eventos con control de señalización L1 puede operar mucho más rápido que la RNC basada en programación de eventos con control de señalización L3. Eso provee al sistema con dos principales ventajas:

1. El Control total de potencia recibida en el enlace de subida, es posible con el Nodo B con programador de eventos para paquetes a alta velocidad, lo cual permite una rápida adaptación a variación de interferencias. La potencia requerida máxima puede ser reducida y el sistema puede operar con promedio más alto de niveles de interferencia conllevando a una transferencia de datos más alta.

2. El programador de eventos en el Nodo B permite una rápida re-asignación de recursos radio entre usuarios. El desfase del programador de eventos asociado con las capacidades de transmisión requeridos desde el UE hacia la RNC y la transmisión de capacidad desde la RNC hacia la UE representan la principal desventaja para la implementación del programador de eventos para paquetes en la RNC. Conceptualmente, el ámbito del propósito del algoritmo de programación de eventos es dinámicamente tomar recursos de usuarios con baja utilización de asignación de recursos radio y redistribuirlos entre usuarios con alta utilización. Los parámetros de la programación de eventos para paquetes establecidos para ambas programaciones de eventos tanto en la RNC como en el Nodo B son reportados en la Tabla 4.5. La programación de eventos y la definición de modificación de periodos define la frecuencia de paquetes en una celda y en un usuario.

Tabla 4.5. Parámetros Establecidos en el Programador de Paquetes para Simulación de RNC y Nodo B.

	<b>Programador en Nodo B</b>	<b>Programador en RNC</b>
	<b>(ms)</b>	
<b>Periodo de esquema de paquetes fijo.</b>	100	200 ms
<b>Asignación de retraso.</b>	100	600 ms
<b>Tiempo de inactividad</b>	40	100 ms
<b>Después de haber estados inactivo por este periodo de tiempo el UE es bajado de grado hasta la mínima tasa de bits permitida.</b>	100	2s

#### 4.10. Referencias

- [1] WCDMA para UMTS (3ra edición), John Wiley e Hijos, Chichester, UK.
- [2] Algoritmo de Control de Admisión Basado en Clases para los Canales Compartidos. P. Hosein.
- [3] Especificaciones Técnicas 3GPP para la Interface Iub NBAP.
- [4] Algoritmos de Acceso HSDPA Basados en Calidad.
- [5] Control Adaptativo de Adaptación del Enlace para HSDPA en WCDMA.
- [6] Análisis de Eficiencia de Iub para HSDPA en WCDMA.
- [7] Eligiendo los Parámetros de la Interface Aire para UMTS, IEEE INFOCOM. Abril 2006.
- [8] Usando Sistemas Dedicados para Mejorar la Cobertura y la Capacidad de HSDPA en Interiores, IEEE, Junio 2006.

## **CAPÍTULO V**

# **“REQUERIMIENTOS DE RADIO FRECUENCIA DEL TERMINAL HSPA”**

## 5.1. Introducción

Este capítulo presenta los principales requerimientos del desempeño de radio frecuencia para el terminal planteados por 3GPP con énfasis en los nuevos aspectos introducidos usando HSPA, mostrando los requerimientos del transmisor y del receptor.

## 5.2. Requerimientos del Transmisor

### 5.2.1. Potencia de Salida

Los terminales WCDMA y HSDPA son ya sea de potencia clase 3 con 24 dBm como máxima potencia de salida o de potencia clase 4 con 21 dBm de potencia de salida. La potencia clase 4 tiene una tolerancia de  $\pm 1/3$  dB, la potencia de salida del terminal está en el rango de 21-25 dBm. La tolerancia con potencia clase 3 es de  $\pm 2/2$  dB. Si la potencia de salida del terminal es de 22 dBm, el terminal podría ser clasificado ya sea como clase 3 o como clase 4 dado al solapamiento en la definición de clases. Las clases de potencias son resumidas en la Tabla 5.1.

Tabla 5.1 Clases de Potencia del UE

	Potencia clase 3	Potencia clase 4
<b>Potencia máxima</b>	+ 24 dBm	+ 21 dBm
<b>Tolerancia</b>	+ 1/3 dB	+ 2/2 dB

La alta potencia de salida del terminal puede mejorar la tasa de transferencia de datos en el pico del área de cobertura. Con HSDPA se introduce un nuevo canal en el enlace de subida para retroalimentación L1 llamado Canal de Control Físico Dedicado de Alta Velocidad (High Speed Dedicated Physical Control Channel, HS-DPCCH). La transmisión de HS-DPCCH toma lugar en paralelo con la transmisión

normal de multicodigo DPCCH. La transmisión de multicodigo establece requerimientos lineales para el equipo de usuario (UE). Las especificaciones de 3GPP permiten al UE bajar la potencia de salida máxima para esos slot de tiempo cuando el HS-DPCCH es transmitido. La reducción de potencia permitida depende de la amplitud relativa del enlace de subida DPDCH  $\beta_d$  y DPCCH  $\beta_c$ . Si la potencia relativa del DPCCH es baja comparada con el DPDCH, en ese caso no es permitida ninguna reducción de potencia. Sí la tasa de transferencia de datos de enlace de subida es aproximadamente 16 kbps o mayor, entonces no es requerida reducción de potencia. Una reducción de potencia de 1 dB puede ser usada para bajas tasas de datos. La máxima reducción de potencia de 2 dB es solo relevante cuando la conexión de enlace de subida no tiene datos a ser transmitidos. Los límites de potencia de salida para el UE usando el HS-DPCCH son resumidos en la Tabla 5.2. Se espera que la reducción de potencia no tenga ningún efecto sobre el dimensionamiento del enlace de la red.

Tabla 5.2 Potencia de Salida del UE para Edición 5 con HS-DPCCH.

<b>Amplitud radio DPCCH/DPDCH</b>	<b>Tasa de bit correspondiente (Kbps)</b>	<b>Reducción de potencia máxima permitida</b>
<b><math>1/15 &lt; \beta_c / \beta_d &lt; 12/15</math></b>	<b>&gt; 8-16</b>	<b>-----</b>
<b><math>13/15.5 &lt; \beta_c / \beta_d &lt; 15/8</math></b>	<b>&lt; 8-16</b>	<b>-1</b>
<b><math>15/7 &lt; \beta_c / \beta_d &lt; 15/0</math></b>	<b>0</b>	<b>-2</b>

Para la Edición 6 la solución diseñada para llegar a la definición de reducción de potencia fue ligeramente modificada para conllevar a una simple definición para todas las combinaciones, incluyendo el uso de HSDUPA y HSDPA. El término “metro cubico” (Cubic Metric, CM) es introducido como una métrica para permitir la reducción de potencia. Las especificaciones permiten la reducción de la máxima

potencia de salida cuando el CM es incrementado dado el uso de canales de códigos paralelos sobre el valor CM de referencia de 1 (CM= 1 para  $\beta_c/\beta_d = 12/15$ ,  $\beta_{hs}/\beta_c=24/15$ ). Así, la reducción de potencia máxima es calculada contra el valor de CM de 1, donde el máximo valor de CM es 3.5, esto es igual a la máxima reducción de potencia permitida de 2 dB. El CM está definido en la referencia [1] con pasos incrementales de 0.5:

Formula 1:

$$CM = CEIL \left\{ \frac{20 * \log_{10}((v\_norm^3)_{rms}) - 20 * \log_{10}((v\_norm\_ref)_{rms})}{k}, 0.5 \right\}$$

Donde “k” es 1.85 si códigos de canalización son tomados solo desde la mitad más baja del árbol de códigos, de otra manera será 1.56, con  $v\_norm$  representando la forma de onda del voltaje normalizado de la señal de entrada y  $v\_norm\_ref$  siendo la forma de onda del voltaje normalizado de la señal de referencia (12.2 kbps voz AMR). Esta aproximación permite también reemplazar las definiciones de la Edición 5 solo para dispositivos HSDPA sin apoyo a la Edición HSUPA.

Además de la máxima potencia de salida, también es definida la mínima potencia de salida. EL terminal debe estar disponible para bajar la potencia al menos hasta -50 dBm para asegurar protección a la estación base cuando el terminal está cerca de la antena de la estación base, por ejemplo en celdas en interiores.

### 5.2.2. Canal Contiguo de Razón de Escape

El Canal Contiguo de Razón de Escape (Adjacent Channel Leakage Ratio, ACLR) describe el monto de potencia permitida para el pico de las portadoras vecinas. Los requerimientos son específicos ya sea para HSDPA o para HSUPA. Son definidas la reducción de potencia de salida y los canales de control HSDPA

para permitir la misma amplitud de potencia a ser usada con HSDPA como para WCDMA mientras aun se cumpla completamente con los requerimientos de la misma ACLR. Sí no hubiera reducción en potencia permitida cuando la razón de pico promedio incrementa, sería difícil de mantener el desempeño de ACLR sin sobre dimensionar el amplificador.

El propósito de la prueba al ACLR es asegurar protección del desempeño de la recepción de la estación base. Eso es relevante para las estaciones base que se encuentran cerca del terminal mientras este está transmitiendo a una estación base distante con alta potencia de transmisión. Esto es específicamente importante para casos de interferencia entre operadores dado que los terminales no pueden conectarse a la estación base más cercana sí esa pertenece a otro operador. Este caso es mostrado en la Figura 5.1 para el primer y segundo portador contiguo. Valores de ACLR no representan el nivel de potencia para un único punto de frecuencia, pero ellos son integrados sobre el ancho de banda de 3.84 Mhz con el filtro de recepción modulado en las mediciones. Las mediciones son hechas para la potencia completa, pero son también validas para bajo nivel de potencia hasta conseguir acercarse al mínimo nivel de potencia.

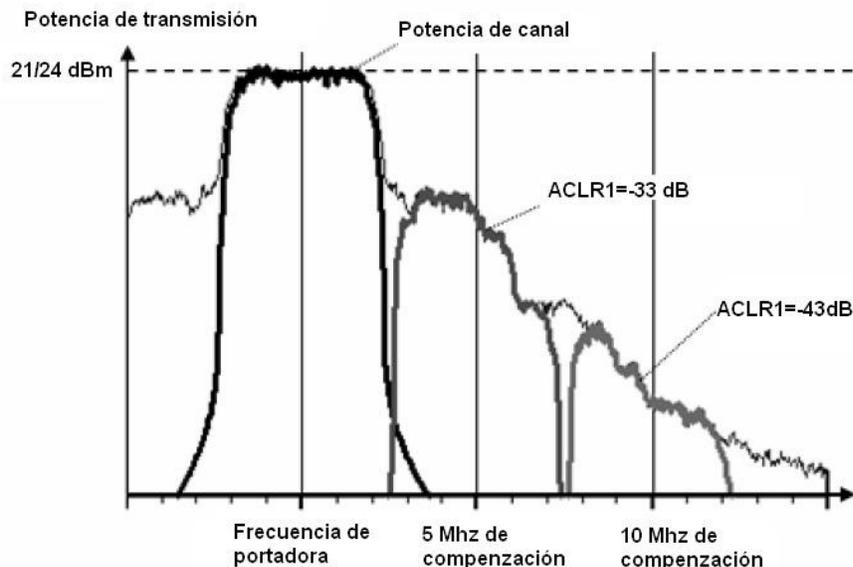


Figura 5.1 Razón de fuga de canal adyacente con transmisión de terminal.

### **5.2.3. Modulación de Transmisión**

Los requerimientos de modulación de transmisión no tienen especificaciones adicionales relacionadas con HSDPA, pero con HSUPA hay puntos similares al Vector de Magnitud de Error de estación base (Error Vector Magnitude, EVM), el cual describe como una estación base en particular transmite una cadena de potencia de fuga entre los códigos de canalización de enlace de bajada. Esto ha sido hecho para estaciones base usando HSDPA dado la introducción de Modulación de Amplitud de Cuadratura 16 (16-Quadrature Amplitude Modulation, 16QAM). Ninguna nueva modulación fue introducida en la dirección del enlace de subida con HSUPA, solo es QPSK de la Edición 99. EVM con transmisión de multicódigo describe cuanta potencia es fugada desde un código hacia otro dado la inexactitud del transmisor, siempre sí en un canal ideal los canales de código se mantienen ortogonales. La Figura 5.2 muestra el caso de ejemplo cuando dos códigos están siendo usados con la máxima tasa de transferencia con un único E-DPDCH. Los canales son en teoría totalmente ortogonales dado que ellos se encuentran en diferentes ramas (en fase y cuadratura) del canal QPSK. Es de notar que el nivel de potencia entre DPCCH y el E-DPDCH no está a escala en la Figura 5.2. El nivel de potencia DPCCH con un factor de dispersión (Spreading Factor, SF) de 256 está debajo del nivel de potencia de SF4 o SF2 del E-DPDCH. El SF más pequeño produce interferencia entre los E-DPDCH paralelos más críticos, dado que el procesamiento de ganancia es pequeño y no ayuda en la supresión de interferencia. Los requerimientos de EVM son validos para la transmisión HSUPA.

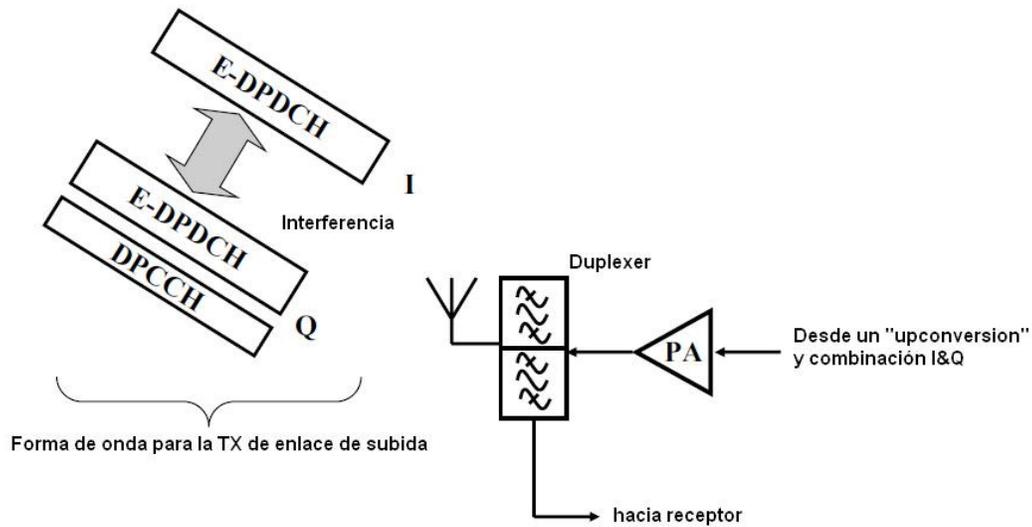


Figura 5.2 Potencia de fuga entre códigos dado a la magnitud del vector de error.

La discontinuidad de fase es importante siempre en el caso de un canal de código simple (DPDCH o E-DPDCH), dado a la información de modulación de portadora en la fase de la señal. Así, discontinuidad de fase excesiva también degradará el desempeño del sistema con datos en un único código.

### 5.3. Requerimientos del Receptor

#### 5.3.1. Sensibilidad

Sensibilidad de receptor es la prueba del rendimiento en el terminal receptor de señales de bajo nivel de potencia (en presencia de ruido térmico), modelando el caso en el borde del área de cobertura del sistema. La Figura 5.3 muestra la prueba realizada para la medida de sensibilidad de recepción. El nivel de potencia de señal requerido antes de la decodificación es -117 dBm. La sensibilidad es definida para 12.2 kbps (voz) con procesamiento de ganancia de 25 dB, así llevando la señal hasta -92 dBm después de la decodificación. Asumiendo un  $E_b/N_0$  requerido de 7 dB para un Bloque de Tasa de Error (Block Error Rate, BLER) de 1% el nivel de ruido tiene que ser de -99 dBm. Dado que el nivel de ruido termal con 3.84 Mbps es de -108 dBm, el ruido del terminal requerido tiene que estar debajo de 9 dB. La

sensibilidad requerida de -117 dBm aplica para la Banda I<sup>28</sup>. Para otras bandas la sensibilidad varía entre -114 y -117 dBm, correspondiendo a ruido de 9 a 12 dB. Los requerimientos de sensibilidad para bandas específicas son definidos dado el tamaño de la banda y la distancia entre el enlace de subida y el enlace de bajada.

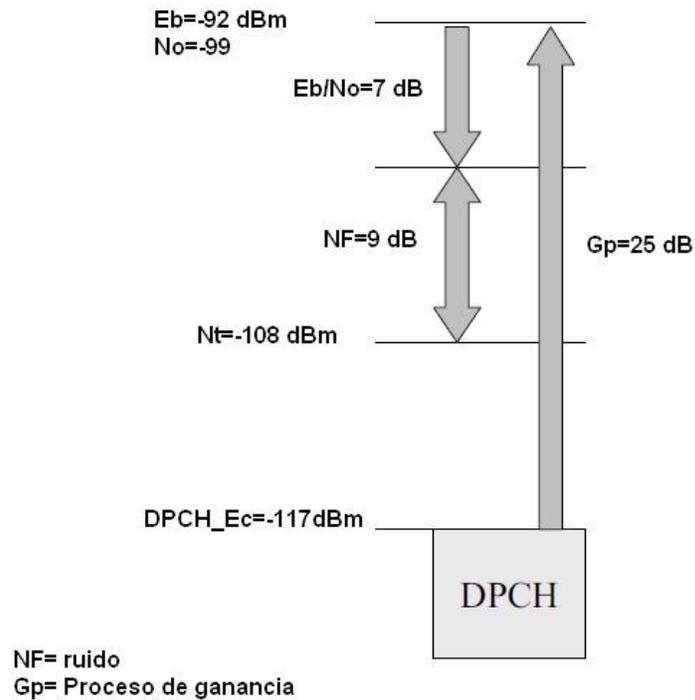


Figura 5.3 Caso de prueba de sensibilidad recibida.

La prueba de sensibilidad es hecha con el terminal transmitiendo a máxima potencia (21 dBm o 24 dBm), como podría ser el caso en el borde del área de cobertura de la celda. Esto permite tomar en cuenta fuga de potencia de transmisión hacia la banda de recepción. La prueba de sensibilidad es definida solo para 12.2 kbps de vos como referencia para el canal de prueba. No hay pruebas específicas para HSDPA o para HSUPA relacionadas a la sensibilidad de receptor.

<sup>28</sup> Rango de frecuencias hasta 2 Mhz

### 5.3.2. Selectividad de Canal Contiguo

Los requerimientos de Selectividad de Canal Contiguo (Adjacent Channel Selectivity, ACS) definidos por 3GPP en la Edición 99 son válidos también para HSPA. ACS describe que tan alto el nivel de potencia de la portadora contigua puede ser mientras el terminal puede aun operar en su frecuencia. Tal situación puede ocurrir entre operadores en redes reales. Las especificaciones de 3GPP requieren un ACS de 33 dB. La Edición 5 contiene un nuevo caso de prueba para ACS, pero ese es solo una prueba ensanchada de cobertura y no está directamente enlazada con la operación de HSPA. En el diseño del terminal, ACS es obtenido por el filtro de canal y por el filtro de banda base digital (como se muestra en la Figura 5.4).

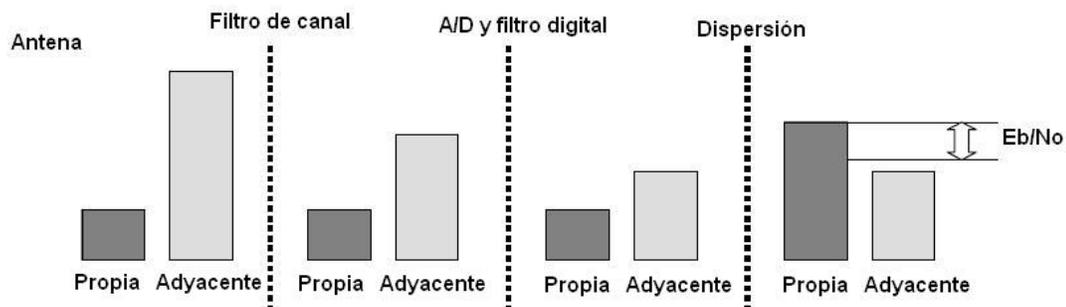


Figura 5.4 Ejemplo de partición ACS en la cadena recibida: “propia”= propia portadora y “adyacente” = portadora adyacente.

### 5.3.3. Intermodulación

El caso de intermodulación deseado para probar la tolerancia de una intermodulación de tercer orden para el receptor del terminal generado por dos señales de alta potencia que están separadas 10 y 20 MHz. Este requerimiento es para mantener el desempeño en el caso donde muchos sistemas coexisten en la misma área. La prueba de la señal que está separada 10 MHz es una señal de

banda estrecha de onda continua mientras una que está separada 20 MHz es una señal de banda ancha. La prueba es mostrada en la Figura 5.5, donde ambas señales están en el mismo tiempo. La prueba de señales tiene un nivel de potencia de -46 dBm mientras que la señal deseada es de -114 dBm, correspondiente a 3 dB menos comparado con la prueba de sensibilidad de -117 dBm.

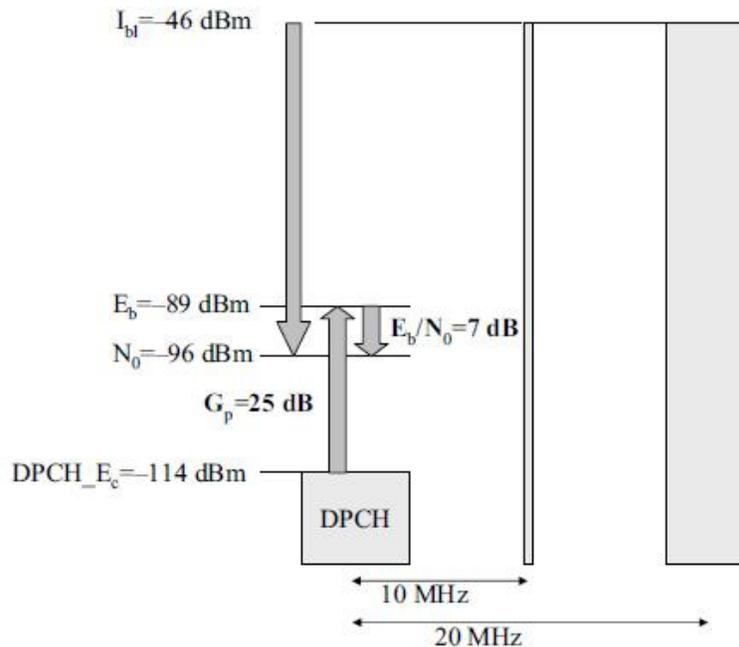


Figura 5.5 Caso de prueba de intermodulación.

### 5.3.4. Receptor de Diversidad y Tipos de Receptores

El uso de receptores de diversidad y algoritmos avanzados de banda base en el terminal más el aumento en la conexión con la introducción de HSDPA han hecho necesario la diversificación de tipos de recetores. 3GPP en la Edición 5 especifica los requerimientos de desempeño que pueden ser completamente cubiertos usando una única antena de receptor de barrido. En la Edición 6 se incluyen requerimientos adicionales para terminales HSDPA, los cuales tienen diversidad de receptor y un

receptor ecualizado, las especificaciones contienen requerimientos para los siguientes casos:

- Un único receptor de barrido (3GPP Edición 5).
- Un receptor de barrido con receptor de diversidad (Tipo I en 3GPP Edición 6).
- Un único receptor ecualizado (Tipo II en 3GPP Edición 6).
- Un ecualizador de receptor con un receptor de diversidad (Tipo III en 3GPP Edición 7).

El caso de prueba con receptor de diversidad asume la situación ideal en la cual las antenas están totalmente sin correlación. Para la implementación en la vida real este no es el caso, dado que las antenas tendrán correlación que depende solo de como el terminal la designe en la banda de frecuencia siendo usada: con frecuencia más baja, correlación más alta entre las antenas. Adicionalmente, las antenas no son capaces de tener ganancias idénticas, lo cual reducirá los beneficios alcanzados. Si diversidad de recepción es asumida en la planeación de la capacidad y el dimensionamiento de la red, debe de ser tomado en cuenta un margen en el desempeño requerido por 3GPP para tomar correlación de antena. Un ejemplo del impacto de correlación de antena por el sistema de transferencia de datos durante la operación en 800 MHz y 2 GHz es mostrada en la Figura 5.6. La misma separación física de antenas es asumida para ambas bandas. La separación efectiva de antenas en términos de longitud de onda  $\lambda$  es más pequeña durante la operación de 800 MHz que durante la operación de 2 GHz. Una pequeña separación efectiva empuja a una correlación alta y ganancia de diversidad de antena más baja. Lo alto de la curva es el caso ideal dentro de la correlación de la antena. En el medio de la curva es para operación de 2 GHz con una separación de antena de  $0.5 \lambda$ , y lo más bajo de la curva es para operación de 800 MHz cuando la longitud de onda está incrementada y la separación efectiva de la antena es reducida a  $0.2 \lambda$ . El efecto de correlación de antena con  $0.5 \lambda$  es pequeño,

claramente menos del 5% comparado con el caso ideal, mientras con  $0.2 \lambda$  el efecto es aproximadamente de 10-15%.

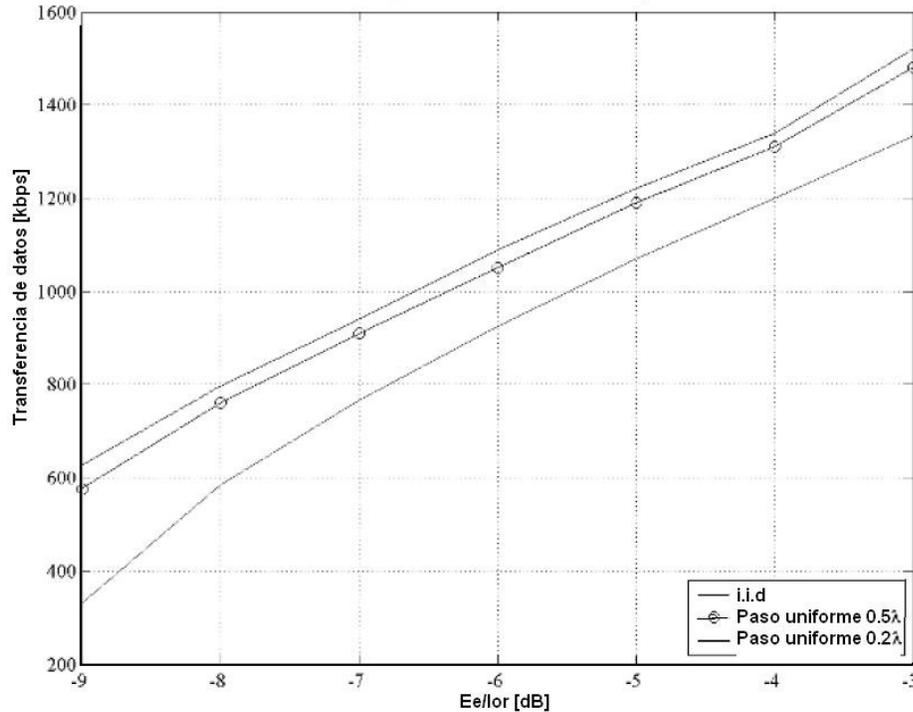


Figura 5.6 Impacto en el desempeño del sistema de un caso de ejemplo con correlación de antena en un caso ideal (i.i.d) y en 2 Ghz ( $0.5\lambda$ ) y en el caso 800 Mhz ( $0.2\lambda$ ).

### 5.3.5. Nivel Máximo de Entrada

Con la introducción de 16QAM hay necesidad de preservar la fase exacta y la información de amplitud a través de la cadena de recepción. De otra manera, el desempeño de 16QAM podría ser severamente degradado. Para evitar esto, ha sido definida una prueba específica para el desempeño del terminal para una máxima señal de entrada. Esto corresponde para el caso en el cual el terminal está cerca de la estación base, en el área donde 16QAM podría ser usado en la red. Las medidas del caso de prueba de la transferencia de datos asegura la recepción adecuada de la cadena de operación HSDPA para el máximo nivel de entrada. Esto

hace que el caso de prueba sea aplicable a todos los dispositivos soportando 16QAM. El caso de prueba para el nivel máximo de entrada para la Edición 99 y para HSDPA es mostrado en la Figura 5.7. Para HSDPA el caso ha sido modificado para acomodar la señal sobre variaciones con 16QAM. Todos los terminales de Categoría 1 a 10 pueden usar este caso de prueba para validar la tolerancia de un nivel de señal alta para la entrada.

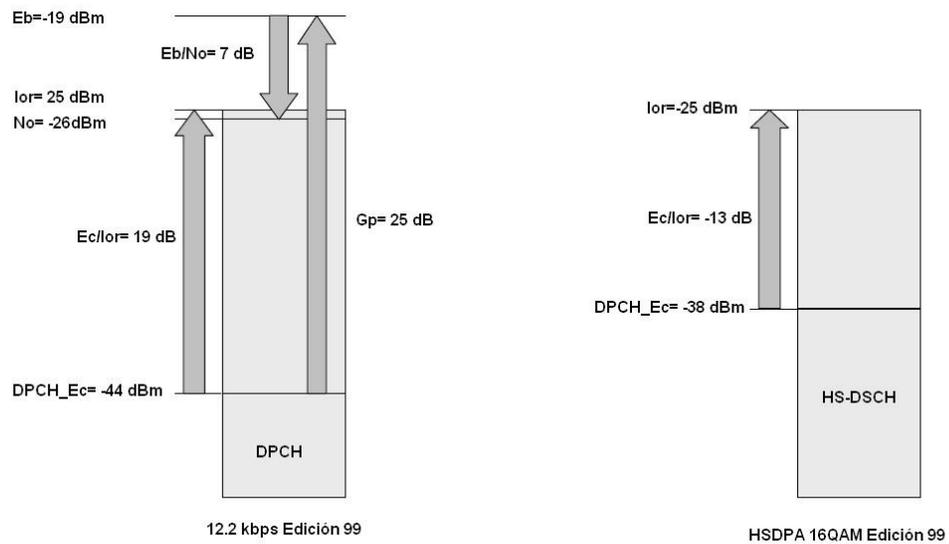


Figura 5.7 Máximo nivel de señal de entrada para pruebas del Terminal con DCH y con HSDPA 16QAM.

#### 5.4. Referencias

[1] User Equipment (UE) Radio Transmission and Reception (FDD), disponible en [www.3gpp.org](http://www.3gpp.org)

ERROR: syntaxerror  
OFFENDING COMMAND: %ztokenexec\_continue

STACK:

-filestream-  
-mark-  
/sfnts

## CAPITULO VI

## CONCLUSION

Gracias a la constante innovación, la familia de tecnologías celulares que proveen servicio de datos en las redes inalámbricas puede ofrecer una solución que satisface las constantes demandas de los operadores y los usuarios finales. El Acceso a Paquetes a Alta Velocidad (High Speed Packet Access, HSPA) es el resultado de la combinación de dos tecnologías, donde HSDPA es la encargada de las mejoras introducidas para el enlace de bajada que son contempladas en la Edición 5 de 3GPP y HSUPA es la que reúne las mejoras correspondientes al enlace de subida contempladas en la Edición 6 de 3GPP.

Mientras no se de la implementación total de LTE (Long Term Evolution) en todas las redes celulares mundiales, HSPA es el que ofrece los más altos picos de velocidad de datos de las tecnologías desarrolladas por 3GPP. Con HSPA se ha podido incrementar el pico de velocidad de transferencia de datos, eficiencia espectral y se ha reducido la latencia de la red. Como resultado de esto se ha podido brindar al usuario final mayores velocidades y mayor cantidad de aplicaciones disponibles.

HSPA hace posible la mejora de la red celular tomando como base la infraestructura UMTS/WCDMA apoyándose en la mejoría de ciertas características que pueden ser resumidas como:

- Transmisión de Canal Compartido, cuyo resultado conlleva al uso eficiente de los códigos y los recursos de potencia disponibles en WCDMA.
- Un pequeño Intervalo de Tiempo de Transmisión, lo cual reduce el tiempo de viaje de ida y vuelta entre el Nodo B y el equipo de usuario.
- Adaptación del Enlace, el cual maximiza el uso de canales (lógicos y físicos) y habilita a la estación base a operar cerca de la potencia máxima de celda.
- Programador a Alta Velocidad, el cual se encarga de priorizar a los usuarios con las condiciones de canal más favorables.

- Retransmisiones a Alta Velocidad y Combinación Suave, con lo cual se incrementa la capacidad de la red.
- 16QAM, lo cual produce alta tasa de bit.
- HARQ, uso de redundancia incremental, donde los datos de usuario son transmitidos múltiples veces usando diferentes códigos.
- Canal físico dedicado mejorado.
- Nodo B basado en basado en programador, lo cual permite a la estación base una asignación de recursos eficiente.

## RECOMENDACIONES

En función de la investigación realizada se recomiendan los siguientes puntos que buscan ayudar a futuras investigaciones de nuevas tecnologías o que pretendan dar continuidad a la desarrollada en esta monografía:

- A modo de dar continuidad a la investigación llevada a cabo en esta monografía se recomienda que se haga una investigación sobre HSPA +.
- Se sugiere se hagan investigaciones sobre la evolución de tecnologías paralelas a HSPA tales como Wimax o Wi-Fi.
- Se recomienda el desarrollo de una investigación sobre LTE (cuarta generación).
- Se sugiere siempre estar informado con las publicaciones de los desarrolladores de tecnología tales como 3GPP.

## BIBLIOGRAFIA

- Ralf Kreher  
UMTS Performance Measurement, A Practical Guide to KPIs for the UTRAN Environment.  
Publicado en Octubre de 2006 por John Wiley and Sons, Ltd.  
Capítulo 3.
- John Wiley and Sons Ltd.  
Next Generation Mobile Systems 3G and Beyond.  
Editado por Minoru Etoh DoCoMo, Communications Laboratories USA.  
Publicado en Junio de 2005.
- Paul Golding .  
Next Generation Wireless Applications 2da Edición.  
Publicado en Junio de 2008 por John Wiley and Sons, Ltd.  
Capítulo 12.
- HSPA Evolution Brings Mobile Broadband to Consumer Mass Markets.  
Nokia Siemens Networks  
Publicado en 2008
- HSPA, the Undisputed Choice for Mobile Broadband.  
Ericsson.  
Rev B, Febrero de 2009.

- 3<sup>rd</sup> Generation Partnership Project (3GPP), Release 5 HSDPA, 2005, disponible en <http://www.3gpp.org/>
- 3<sup>rd</sup> Generation Partnerships Project (3GPP), Release 6 The technical purpose of the Enhanced Uplink feature is to improve the performance of uplink dedicated transport channels, i.e. to increase capacity and throughput and reduce delay, 2006, disponible en <http://www.3gpp.org/>
- John Wiley and Sons LTD  
WCDMA Para UMTS  
Editado por Harri Holman y Antti Toskala  
Publicado en 2007 por John Wiley and Sons, Ltd.

## GLOSARIO DE TERMINOS

- 16QAM, Modulación de Amplitud de Cuadratura 16 (16 Quadrature Amplitude Modulation)
- 2G, Segunda Generación (Second Generation)
- 3G, Tercera Generación (Third Generation)
- 3GPP, Proyecto de Colaboradores para Tercera Generación (3rd Generation Partnership Project)
- 64QAM, Modulación de Amplitud de Cuadratura 64 (64 Quadrature Amplitude Modulation)
- 8PSK, Modulación por Desplazamiento de Fase 8 (8 Phase Shift Keying)
- ACLR, Canal Contiguo de Razón de Escape (Adjacent Channel Leakage Ratio)
- ACS, Selectividad de Canal Contiguo (Adjacent Channel Selectivity)
- AM, Modo Reconocido (Acknowledged Mode)
- AMC, Modulación Adaptativa y Codificación (Adaptive Modulation and Coding)
- AMR, Muti-Tasa Adaptativa (Adaptive Multi-Rate)

- ARP, Asignación de Retención de Prioridad (Allocation and Retention Priority)
- ARQ, Requerimiento de Repetición Automático (Automatic Repeat reQuest)
- ATM, Modo de Transferencia Asíncrona (Asynchronous Transfer Mode)
- AWGN, Ruido Aditivo Blanco Gaussiano (Additive White Gaussian Noise)
- BLEP, Bloque de Probabilidad de Error (Block Error Probability)
- BLER, Bloque de Tasa de Error (Block Error Rate)
- BPSK, Deslizamiento de Fase Binaria (Binary Phase Shift Keying)
- BTS, Estaciones de Base de Transcivers (Base Transceiver Station)
- C/I, Razón de Portadora a Interferencia (Carrier-to-Interference ratio)
- CDMA, Acceso Múltiple por División de Código (Code Division Multiple Access)
- CM, Metro Cúbico (Cubic Metric)
- CN, Núcleo de Red (Core Network)
- CPICH, Canal Piloto Común (Common Pilot Channel)

- CQI, Información de Calidad de Canal (Channel Quality Information)
- CRC, Revisión de Redundancia Cíclica (Cyclic Redundancy Check)
- CRNC, RNC Controladora (Controlling RNC)
- CS, Conmutación de Circuito (Circuit Switched)
- DCCH, Canal de Control Dedicado (Dedicated Control Channel)
- DCH, Canal Dedicado (Dedicated CHannel)
- DDI, Indicador de Descripción de Datos (Data Description Indicator)
- DL, Enlace de Bajada (DownLink)
- DPCCH, Canal de Control Físico Dedicado (Dedicated Physical Control CHannel)
- DPCH, Canal Físico Dedicado (Dedicated Physical CHannel)
- DPDCH Dedicated Physical Data Channel
- DRX, Recepción Discontinua (Discontinuous Reception)
- DSCH, Canal Compartido de Enlace de Bajada (Downlink Shared CHannel)
- DSL, Línea Digital de Subscriptor (Digital Subscriber Line)
- DT, Tiempo de Descartado (Discard Timer)

- DTCH, Canal de Trafico Dedicado (Dedicated Traffic CHannel)
- DTX, Transmisión Discontinua (Discontinuous Transmission)
- E-AGCH, Canal Absoluto Concedido E-DCH (E-DCH Absolute Grant CHannel)
- E-DCH Canal Dedicado para Enlace de Subida Mejorado (Enhanced uplink Dedicated CHannel)
- E-DPCCH, Canal de Control Físico Dedicado E-DCH (E-DCH Dedicated Physical Control CHannel)
- E-DPDCH, Canal de Datos Físico Dedicado E-DCH (E-DCH Dedicated Physical Data CHannel)
- E-HICH, Canal Indicador E-DCH HARQ (E-DCH Hybrid ARQ Indicator Channel)
- E-RGCH, Canal Concedido Relativo E-DCH (E-DCH Relative Grant Channel)
- E-TFC, Combinación de Formato de Transporte E-DCH (E-DCH Transport Format Combination)
- E-TFCI, Indicador de Combinación de Formato de Transporte E-DCH (E-DCH Transport Format Combination Indicator)
- ECR, Tasa Efectiva de Código (Effective Code Rate)

- EDGE, Tasa de Datos Mejorada para la Evolución de GSM (Enhanced Data rates for GSM Evolution)
- EGPRS, GPRS Mejorado (Enhanced GPRS)
- EVM, Vector de Magnitud de Error (Error Vector Magnitude)
- F-DCH, Canal Físico Dedicado Fraccional (Fractional Dedicated CHannel)
- F-DPCH, Canal Físico Dedicado Fraccional (Fractional Dedicated Physical CHannel)
- FACH, Canal de Acceso de Reenvío (Forward Access CHannel)
- FCS, Selección de Celdas a Alta velocidad (Fast Cell Selection)
- FDD, División Dúplex de Frecuencia (Frequency Division Duplex)
- FDMA, Acceso Múltiple por División de Frecuencia (Frequency Division Multiple Access)
- FRC, Canales de Referencia Fijos (Fixed Reference Channel)
- G-factor, Factor de Geometría (Geometry factor)
- GBR, Tasa de Bit Garantizado (Guaranteed Bit Rate)
- GERAN GSM/EDGE RAN

- GGSN, Nodo de Soporte de Compuerta GPRS (Gateway GPRS Support Node)
- GPRS, Servicio General de Paquetes Vía Radio (General Packet Radio Service)
- GSM, Sistema Global para las Comunicaciones Móviles (Global System for Mobile Communications)
- HARQ, Requerimiento de Repetición Automático Híbrido (Hybrid Automatic Repeat reQuest)
- HLBS, Canal Lógico de Más Alta Prioridad (Highest priority Logical channel Buffer Status)
- HLID Highest priority Logical channel ID
- HLR, Registro de Localización Local (Home Location Register)
- HS-DPCCH, Canal de Control Físico Dedicado a Alta Velocidad (Uplink High-Speed Dedicated Physical Control Channel)
- HS-DSCH, Canal Compartido de Enlace de Bajada a Alta Velocidad (High-Speed Downlink Shared Channel)
- HS-PDSCH, Canal Compartido de Enlace de Bajada Físico a Alta Velocidad (High-Speed Physical Downlink Shared Channel)
- HS-SCCH, Canal de Control Compartido a Alta Velocidad (High-Speed Shared Control Channel)

- HSDPA, Acceso a Paquetes en Enlace de Bajada a Alta Velocidad (High-Speed Downlink Packet Access)
- HSPA, Acceso a Paquetes a Alta Velocidad (High-Speed Packet Access)
- HSUPA, Acceso a Paquetes en Enlace de Subida a Alta Velocidad (High-Speed Uplink Packet Access)
- IP, Protocolo de Internet (Internet Protocol)
- IR, Redundancia Incremental (Incremental Redundancy)
- MAC, Control de Acceso al Medio (Medium Access Control)
- MAC-d, MAC dedicada (dedicated MAC)
- MAC-es/s, E-DCH MAC
- MAC-hs, MAC a Alta Velocidad (high-speed MAC)
- MBMS, Servicio Multicast de Emisión Multimedia (Multimedia Broadcast and Multicast Service)
- MIMO, Múltiples Entradas Múltiples Salidas (Multiple Input Multiple Output)
- NBAP, Parte de Aplicación de Nodo B (Node B Application Part)
- OVSF, Facto Variable de Dispersión Ortogonal (Orthogonal Variable Spreading Factor)

- P-CPICH, Canal Piloto Común Primario (Primary CPICH)
- PAR, Razón Pico Promedio (Peak-to-Average Ratio)
- PCCC, Códigos de Convoluciones Concatenadas en Paralelo (Parallel Concatenated Convolutional Code)
- PDCCP, Protocolo de Convergencia de Paquete de Datos (Packet Data Convergence Protocol)
- PDU, Carga Efectiva de Datos (Payload Data Unit)
- PS, Conmutación de Paquetes (Packet Switched)
- PU, Unidad de Carga (Payload Unit)
- QAM, Modulación Por Amplitud de Cuadratura (Quadrature Amplitude Modulation)
- QoS, Calidad de Servicio (Quality of Service)
- QPSK, Modulación por Desplazamiento de Fase (Quadrature Phase Shift Keying)
- RACH, Canal de Acceso Aleatorio (Random Access Channel)
- RAN, Red de Acceso Radio (Radio Access Network)

- RANAP, Parte de Aplicación de Red de Acceso Radio (Radio Access Network Application Part)
- RB, Portadora Radio (Radio Bearer)
- RF, Radio Frecuencia (Radio Frequency)
- RLC, Control de Enlace Radio (Radio Link Control)
- RNC, Controlador de Red Radio (Radio Network Controller)
- RRC, Control de los Recursos de Radio (Radio Resource Control)
- RRM, Gestor de Recursos Radio (Radio Resource Management)
- RSN, Número de Secuencia de Retransmisión (Retransmission Sequence Number)
- RTT, Tiempo de Viaje de Ida y Vuelta (Round Trip Time)
- RTWP, Potencia Total de Ancho de Banda Recibida (Received Total Wideband Power)
- S-CCPCH, Canal Físico de Control Común Secundario (Secondary CCPCH
- SA Services and system Architecture)
- SDU, Unidades de Servicio de Datos (Service Data Unit)

- SF, Factor de Dispersión (Spreading Factor)
- SGSN, Nodo de Soporte de Servidor GPRS Serving GPRS Support Node
- SI, Programador de Información (Scheduling Information)
- SINR, Razón de Señal a Interferencia Más Ruido (Signal-to-Interference-plus-Noise Ratio)
- SIR, Razón de Interferencia de Señal (Signal to Interference Ratio)
- SPI, Indicador de Prioridad de Programador (Scheduling Priority Indicator)
- SRB, Portadora de Señalización Radio (Signalling Radio Bearer)
- SRNC, RNC Servidora (Serving RNC)
- TC, Clase de Trafico (Traffic Class)
- TDD, División Dúplex de Tiempo (Time Division Duplex)
- TFCl, Indicador de Combinación de Formato de Transporte (Transport Format Combination Indicator)
- TFRC, Formato de Transmisión y Combinación de Recursos (Transport Format and Resource Combination)
- THP, Prioridad de Gestión de Tráfico (Traffic Handling Priority)

- TPC, Control de Transmisión (Transmission Power Control)
- TSG, Grupo de Especificaciones Técnicas (Technical Specification Group)
- TTI, Intervalo de Tiempo de Transmisión (Transmission Time Interval)
- TX GAP, Transmisión GAP (Transmit GAP)
- UE, Equipo de Usuario (User Equipment)
- UL, Enlace de Subida (UpLink)
- UM, Modo Sin Reconocimiento (Unacknowledged Mode)
- UM-RLC, Modo RLC Sin Reconocimiento (Unacknowledged Mode RLC)
- UMTS, Sistema Universal de Telecomunicaciones Móviles (Universal Mobile Telecommunications System)
- UTRA, Acceso Radio Terrestre UMTS (UMTS Terrestrial Radio Access (ETSI))
- VoIP, Voz Sobre IP (Voice over IP)
- WAP, Protocolo de Aplicación Inalámbrica (Wireless Application Protocol)
- WCDMA, CDMA de Banda Ancha (Wideband CDMA)