

## 4 Estructura de la capa física en HSDPA

Ha sido mencionado con anterioridad que muchos de los cambios necesarios para la introducción de HSDPA se dan a nivel físico con la introducción de nuevos canales que permiten las nuevas tasas de transferencia objetivo en HSDPA.

Se habla de **canales lógicos** cuando se hace referencia al contenido de la información transmitida.

Los **canales de transporte** dan información de cómo y con qué características los datos son transmitidos en el interfaz aire.

Por último, los **canales físicos** están descritos por las características físicas de la transmisión en el interfaz aire.

A continuación se muestra una figura con los mapeos de canales lógicos, de transporte y físicos incluyendo los nuevos canales HSDPA.

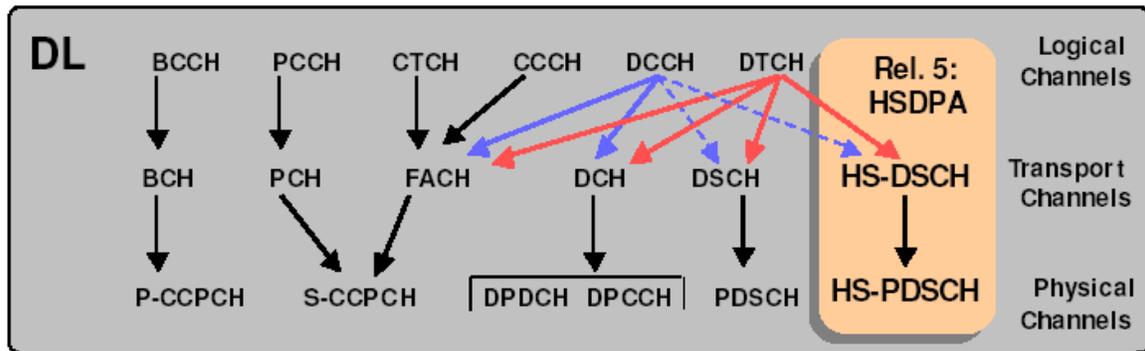


Figura 1 Mapeo de canales radio

En esta figura no están todos los canales físicos, tan sólo los que tienen una correspondencia en canales de transporte.

En HSDPA se introduce un nuevo canal de transporte **HS-DSCH** que se mapea a un nuevo canal físico **HS-PDSCH**.

Los canales lógicos no varían ante la introducción de HSDPA, es decir, tenemos un DTCH (*Dedicated Traffic Channel*) y un DCCH (*Dedicated Control Channel*). Ambos van transportados en los canales de transportes existentes en UMTS:

DCH (*Dedicated Channel*), FACH (*Forward Access Channel*) o DSCH (*Dedicated Shared Channel*).

Con HSDPA se introduce un nuevo canal de transporte compartido en el enlace descendente (HS-DSCH) que transporta los paquetes de datos de usuario que existen en el canal lógico DTCH.

### 4.1 Canales Físicos en HSDPA

En la figura 28 se muestran los nuevos canales en HSDPA, que se irán describiendo a continuación:

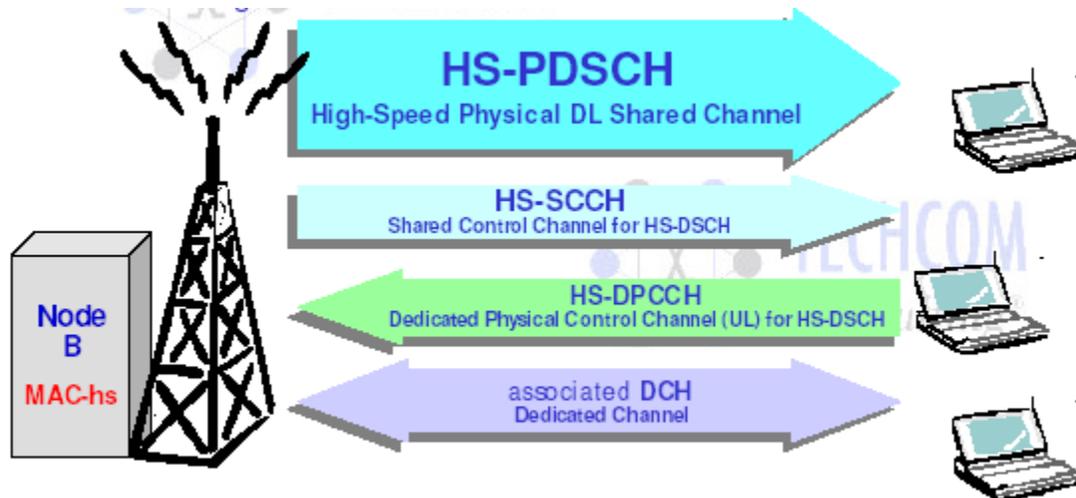
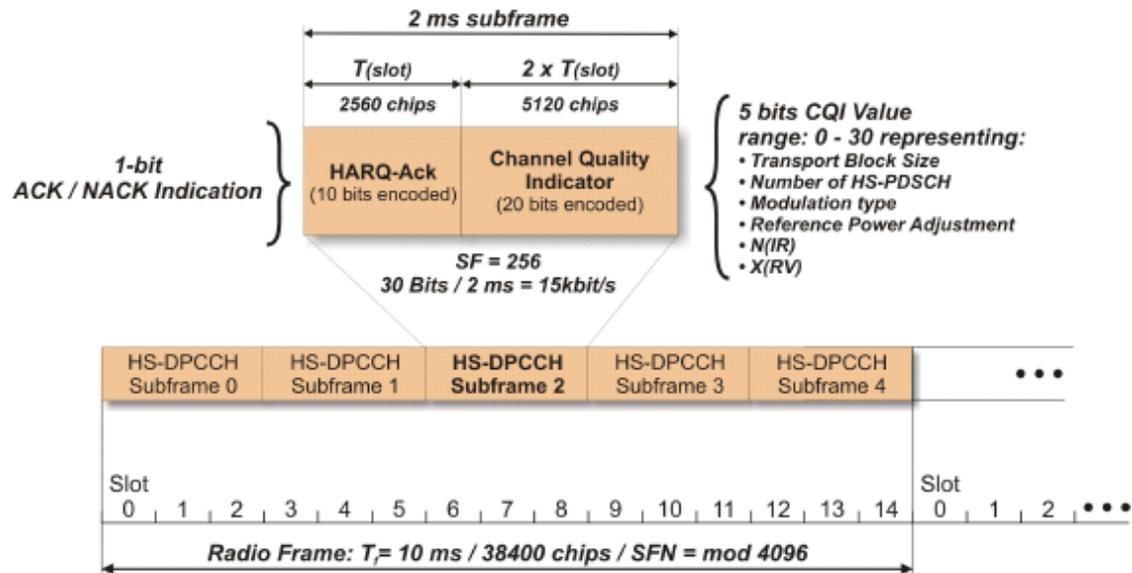


Figura 2 Canales físicos en HSDPA

#### 4.1.1 Canal HS-DPCCH (enlace ascendente)

El canal HS-DPCCH es el único canal introducido en el enlace ascendente (UL). La figura 29 muestra la estructura de la trama del canal HS-DPCCH. Este canal transporta la señalización de “retroalimentación” en el enlace ascendente relacionado a la transmisión del HS-DSCH. Es decir, este canal transporta la información “de vuelta o feedback” que consiste en el acuse de recibo del H-ARQ y en el CQI, indicador de la calidad del canal. El canal HS-DPCCH es **un canal físico que no tiene asociado ningún canal de transporte**. La duración del tiempo de transmisión del canal es de 2 milisegundos.



**Figura 3 Estructura de trama de HS-DPCCH**

Cada sub-trama de 2 mseg. consta de 3 slots. El acuse de recibo de los procesos HARQ se transporta en el primer slot. El indicador de calidad (CQI) viaja en los spots 2 y 3. Existirá al menos 1 canal HS-DPCCH por terminal HSDPA y este sólo puede existir con un canal DPCCH (R'99) en UL, es decir, el canal de señalización dedicada en el DCH asociado.

El factor de ensanchamiento es 256. Los 6 bits de información son codificados a 30 bits. Esto es 3,84Mcps en 2 mseg son un total de 7680 chips con un SF de 256 ->  $7680/256 = 30$  bits en 2 mseg.

El acuse de recibo ACK/NACK indica al NodoB si la transmisión fue correcta o si es necesaria una retransmisión. El indicador de calidad permite al NodoB determinar que tasa de datos puede ser enviada al terminal en las nuevas transmisiones o retransmisiones. Un requerimiento es que el traspaso Sueve (Soft-Handover) se mantiene independiente de si todos los nodos involucrados soportan HSDPA o no. De esta manera se decidió mantener la estructura de canales en UL y añadir la nueva información necesaria para HSDPA en un canal paralelo, el llamado HS-DPCCH.

**HARQ- Ack/Nack** refleja el resultado del chequeo CRC después de la decodificación de los paquetes y también posible combinado con retransmisiones anteriores.

**El indicador de calidad del canal (CQI)** estima el tamaño de bloque de transporte, tipo de modulación y número de códigos paralelos que pueden ser recibidos correctamente dentro de un BLER menor o igual 10% en la dirección descendente.

#### 4.1.1.1 Cadena de codificación del HS-DPCCH

Los datos de HARQ-ACK/NACK y CQI son codificados y entonces mapeados a los canales físicos. Ambos datos son procesados en paralelo, ya que el flujo de bits no son directamente multiplexados sino que se transmiten en diferentes instantes en el HS-DPCCH. El HARQ-ACK/NACK es transmitido en el primer slot y el CQI sobre los 2 siguientes slots.

- Codificación del HARQ-Ack/Nack  
Los datos de HARQ-Ack/Nack es un solo bit que se codifica a 10 bits. En caso de Ack (reconocimiento positivo) se repiten 10 veces el valor 1 y caso de Nack (reconocimiento negativo) se repiten 10 veces el valor 0.
- Codificación del CQI  
Se utiliza un código (20,5), es decir 5 bits de entrada y 20 de salida. Esto nos da una relación de codificación de  $5/20 = 1/4$  lo cual es mucha redundancia y proporciona una muy buena protección ante errores.

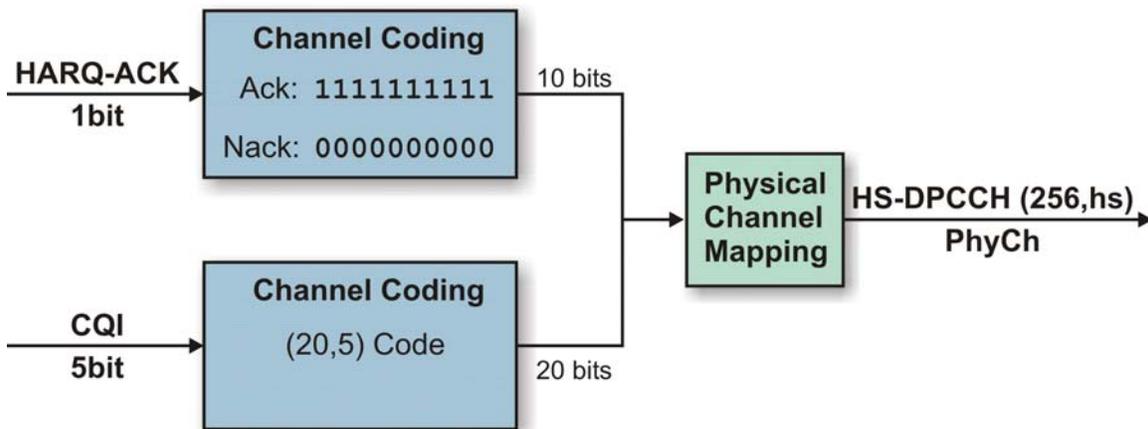


Figura 4 Cadena Codificación HS-DPCCH

#### 4.1.1.2 Sincronización HS-SCCH/HS-DSCH y el HS-DPCCH

Las figuras 31 y 32 muestran las relaciones de sincronización entre los canales HSDPA en UL.

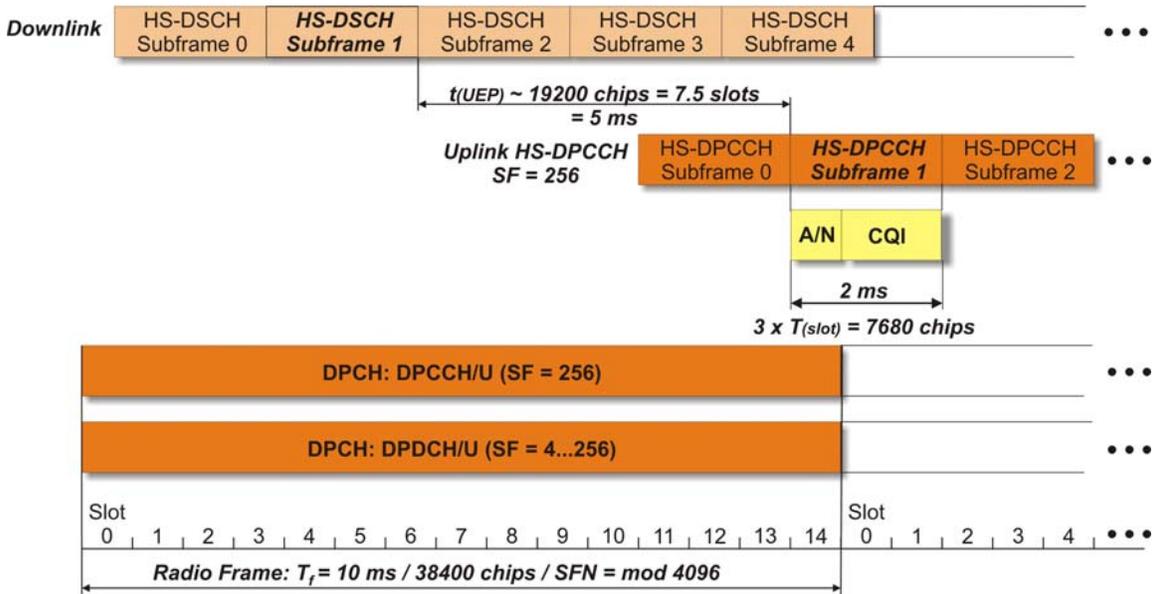


Figura 5 Sincronización UL en HSDPA

El canal HS-DPCCH no está necesariamente alineado con el canal UL DPCH R'99 dependiendo de la sincronización DL  $t(\text{DPCH}) = n \times 256 \text{ chips}$ .

El procedimiento de sincronización comienza desde la recepción del HS-SCCH, decodificación del HS-DSCH hasta el reconocimiento (o no) de la transmisión vía ACK/NACK en UL.

La clave desde el punto de vista del terminal es el retardo de 7.5 slots (5 ms) desde el final del HS-DSCH hasta el comienzo de la transmisión del Ack/Nack en UL.

Las características del terminal no influyen en la sincronización de cada transmisión pero definen lo frecuente que puede programar el NodoB una transmisión a un determinado terminal. El terminal incluye información sobre el periodo mínimo entre TTI, que informa si TTI's consecutivos pueden ser utilizados para enviar información en el HS-DSCH al mismo terminal.



El valor de CQI consiste en un valor recomendado de TFRC proporcionado desde el terminal al NodoB. Cuando el terminal indica un determinado valor de CQI, se indica que para las condiciones radio existentes, el terminal es capaz de recibir datos con un formato de transporte correspondiente a ese valor de CQI con una probabilidad de error (BLER) no mayor a 0,1.

Existen unas tablas de referencia entre los valores de CQI (dependiendo de las características del terminal) y el TFRC.

- **Fuera de rango**  
Si el terminal no puede confirmar el mínimo CQI (=1) para tener una BLER  $\leq 0,1$ , entonces se reportará CQI=0 que indica la condición de “Fuera de rango”.
- **Factor de reducción de potencia**  
También llamado como ajuste de potencia, para evitar que los terminales puedan indicar formatos de transporte superiores a sus características, es usado cuando las condiciones radio indicadas superarían el formato de transporte de mayor capacidad.
- **Variación de potencia medida**  
Indica una variación positiva o negativa de la potencia del HS-PDSCH respecto a la potencia recibida en el CPICH.
- **Ciclo de reporte del CQI**  
Indica la frecuencia del reporte del CQI por parte del terminal. Esta frecuencia es controlada por capas superiores via señalización RRC. Frecuencias bajas están orientadas para los terminales que tengan baja actividad, baja capacidad o siempre que la carga UL del NodoB tenga que ser regulada.  
Es decir, este valor nos indica cada cuantas tramas se envía un valor de CQI. Toma valores los siguientes valores: 0, 2, 4, 8, 10, 20, 40, 80, 160 en mseg. El valor 0 mseg indica que no se transmite el CQI.
- **Factor de repetición de CQI**  
Indica cuantas veces se repite un mismo valor de CQI en los reportes que envía el terminal (según el ciclo de reporte anterior). Puede tomar valores de 1 a 4.
- **Delta CQI**  
Indica el incremento de potencia del slot que transporta el CQI en el HS-DPCCH respecto al canal asociado DPCCH en UL.

#### 4.1.1.4 Principio de reporte del CQI

La estimación del CQI es una tarea compleja para el terminal. Se podría implementar con un algoritmo iterativo para determinar el CQI en base a ciertas entradas. La razón del CQI es dar a la capa MAC-hs en el NodoB una indicación acerca de la capacidad actual del canal radio y así poder determinar el nuevo TFRC para la próxima transmisión del HS-DSCH, manteniendo una probabilidad de BLER menor o igual al 10%.

Es como si el Terminal le dijese al Nodo B: *“Basados en la última transferencia de datos en el canal HS-DSCH y la calidad de canal radio en DL actual, sería posible una nueva transferencia de datos con un tamaño de bloque de transporte "X", un número de canales HS-PDSCHs "Y" y una modulación "Z". De esta manera se garantiza que la*

*probabilidad de BLER sea igual o inferior al 10% cuando yo decodifique la información.”*

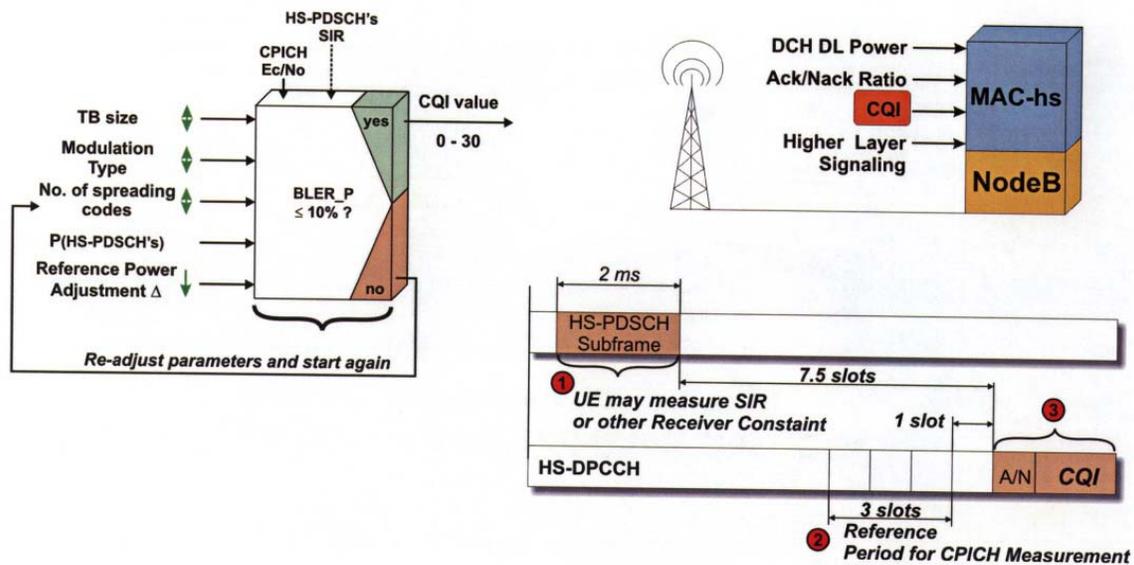


Figura 8 Reporte del CQI

- **El Terminal mide la calidad del canal radio en DL**

1. El Terminal puede medir el SIR de los canales HS-PDSCHs recibidos si previamente le fue asignado un canal de transporte HS-DSCH. Si no, se consideran otra información presente en el receptor.
2. El Terminal mide la calidad recibida ( $E_c/N_0$ ) del piloto CPICH en el periodo de referencia de 3 intervalos, finalizando un intervalo antes del comienzo del primer intervalo en el cual se transmite el valor CQI.
3. El Terminal estima el valor del CQI a través de un proceso iterativo, tomando en cuenta las medidas de SIR en los canales HS-PDSCHs y el  $E_c/N_0$  en el piloto CPICH. A parte, el Terminal prueba con distintos tamaños de bloque de transporte, tipo de modulación, configuración de referencia de potencia para los canales HS-PDSCHs y posibles ajustes de potencia para obtener el valor de CQI. El resultado debe obtener un  $BLER \leq 10\%$ .

- **Decisión del TFRC en el Nodo B**

El Nodo B determina el TFRC (tamaño del bloque de transporte, tipo de modulación y número de códigos) basado en el valor de CQI, siempre tomado como una referencia, ya que no puede ser aplicado directamente en DL (recordemos que el canal HS-DSCH es un

recurso compartido por todos los usuarios de una celda). Otra información de la que dispone el Nodo B son los comandos de control de potencia en DL aplicados sobre el canal DPCH asociado, siempre y cuando no se encuentre en *soft handover* (en tal caso, la información no es interesante). También la cantidad de Ack/Nack de una idea de la calidad de recepción de las tramas y de si los TFRC elegidos son demasiado optimistas o demasiado conservadores.

Sin embargo, se ha de resaltar que el algoritmo exacto que sigue el Nodo B para asignar recursos no está estandarizado, sino que depende del suministrador. Es el **Programador del Nodo B** o *Scheduler* quien se encarga de esta tarea, el cual veremos en posteriores capítulos.

Nota: El Terminal tiene limitado el tiempo de reporte del valor CQI, situándose en 2 milisegundos en el peor de los casos. Esto se produce si previamente hubo una recepción del canal HS-DSCH o si el parámetro que define el ciclo de realimentación del valor de CQI está a 2 milisegundos. En tal caso, debe calcular y reportar el CQI y, al mismo tiempo, medir otra vez en el periodo de referencia indicado de 3 intervalos el  $E_c/N_0$  del piloto para la siguiente subtrama de 2 milisegundos.

#### • Algoritmo de CQI en el Terminal

El Terminal recurre a simulaciones para estimar el valor de CQI, el cual depende de la categoría del mismo (ver anexos 9.4 – 9.8). Si, por ejemplo, reporta CQI=7, el Nodo B sabe que la configuración asociada a ese valor y a los valores inferiores (1 a 6) podrían obtener un BLER  $\leq 10\%$ . Por configuración asociada entendemos tamaño de bloque de transporte, número de canales/códigos HS-PDSCHs y tipo de modulación. El ajuste de referencia de potencia  $\Delta$  indica una posible reducción de la potencia de transmisión del canal HS-PDSCH cuando la calidad del canal en DL exceda las capacidades físicas del Terminal.

### 4.1.2 Canal físico HS-PDSCH

Este canal físico se transmite únicamente en DL y es utilizado por el canal de transporte HS-DSCH para transmitir los datos de usuario (y CRC). A continuación se describen sus características:

- Utiliza un TTI (intervalo de transmisión) fijo de 2 ms. Esto hace que la asignación de los recursos a los usuarios sea cada 2 ms.
- Tamaño de CRC de 24 bits con 1 CRC por TTI.
- Factor de ensanchamiento (SF) fijo de 16.
- Esquemas de modulación QPSK o 16QAM. Con 16 QAM, los bits por símbolo se doblan respecto a QPSK, pero al ser necesario conocer no sólo la fase sino también la amplitud, la calidad de la señal debe ser mejor cuando se usa 16QAM.

- Se pueden transmitir hasta 15 canales HS-PDSCH por celda. El número teórico de códigos con SF=16 es precisamente 16 pero como es necesario ubicar los canales comunes y los canales DCH, el máximo establecido es de 15 códigos. Cada canal HS-PDSCH utilizará uno de estos códigos.
- Esquema de codificación fijo (Turbo Coding) con relación 1/3.
- No funciona en *Soft Handover*. Los datos son enviados desde los canales HS-PDSCH de una celda unicamente.
- Gestionado por la capa MAC-hs, que asignará los datos de usuario en el tiempo y en los códigos disponibles.
- No se transmite información de control que será transmitida o bien por los canales HS-SCCH o el DCH asociado.
- No utiliza transmisión discontinua (DTX) a nivel de slot. Es decir, el canal es transmitido o bien completamente o no transmitido durante los 2 ms del TTI.

A continuación se muestra la estructura de la trama del canal HS-PDSCH:

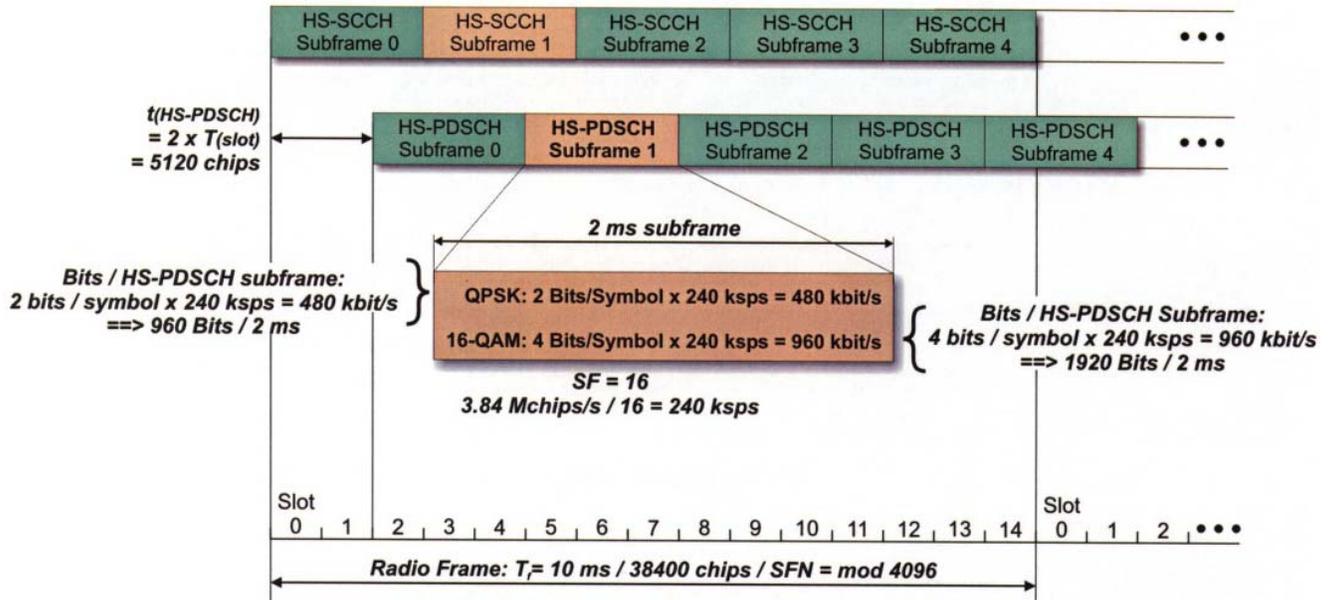


Figura 9 Trama HS-PDSCH

Como ya ha sido comentado, el canal HS-PDSCH puede ser transmitido utilizando modulación QPSK o 16QAM. Sin embargo, el uso de una modulación de mayor orden tiene un coste evidente en el entorno radio. Con *QPSK* únicamente se necesita una estimación de la fase para poder demodular la señal. La modulación *16QAM* requiere también una estimación de amplitud para separar los puntos de la constelación. Pero además, *16QAM* necesita que la propia información de fase sea más precisa, ya que los puntos de la constelación tienen diferencias de fase más reducidas que las existentes en *QPSK*.

De modo que en la recepción de un canal HS-PDSCH, si la trama viene modulada en *16QAM*, el Terminal necesita obtener una estimación de relación de amplitud entre el nivel de potencia del propio canal HS-PDSCH y el nivel de potencia del piloto. Esto implica que el Nodo B no pueda ajustar la potencia del canal HS-PDSCH entre intervalos de tiempo. De no ser así, el funcionamiento del sistema no es válido, pues la amplitud estimada se obtiene a partir del *Common Pilot Channel* (CPICH) y la diferencia de potencia entre el CPICH y el HS-PDSCH.

La tasa de símbolos del HS-PDSCH es calculada de la siguiente forma:

$$38400 \text{ chips} / (16 \text{ chips/símbolo}) = 2400 \text{ símbolo} / 10 \text{ ms} = 240 \text{ ksymb/s}$$

En QPSK, cada símbolo representa 2 bits mientras que con 16QAM cada símbolo representa 4 bits. La tasa física máxima con el número máximo de canales en paralelo sería:

$$\text{QPSK: } 480 \text{ Kbps} \times 15 \text{ canales físicos} = 7.2 \text{ Mbps}$$

$$\text{16QAM: } 960 \text{ Kbps} \times 15 \text{ canales físicos} = 14.4 \text{ Mbps}$$

Dentro de la subtrama HS-DSCH (canal de transporte) todos los canales físicos utilizados (HS-PDSCHs) deben usar el mismo tipo de modulación. Sin embargo, para otro usuario en la misma subtrama HS-DSCH, el resto de canales físicos que utilice puede utilizar otra modulación respecto al primero. En contraprestación, las necesidades de procesado (y por ello, los retardos) en el Nodo B llegan a ser bastante elevadas cuando se convierte en habitual la operación multi-código.

La codificación de canal tiene algunas simplificaciones con respecto al estándar definido en la R'99. Como sólo existe un único canal de transporte activo por HS-PDSCH, los bloques relacionados con la multiplexación de canales pertenecientes al mismo usuario son eliminados, los cuáles sí eran necesarios en R'99. Además, el Entrelazado sólo se extiende sobre un periodo de 2 milisegundos (contra los 10 milisegundos de R'99) y se elimina el concepto de Entrelazado dentro de la trama y Entrelazado entre tramas.

La Codificación Turbo (*turbo coding*) es el único Esquema de Codificación aplicado. De modo que, en teoría, únicamente se pueden conseguir códigos con una relación 1/3. A pesar de ello, sí sería posible obtener códigos con distinta relación modificando el tamaño del bloque de transporte y el esquema de modulación. Con la variación de la relación de código se pueden alcanzar un mayor número de *bits* por código, a expensas de una reducción en la ganancia del mismo.

La siguiente figura nos da una idea de cómo la red codifica un *bit* antes de transmitirlo. Como ya se ha indicado, utilizando la codificación turbo, por cada *bit* a enviar necesitamos transmitir 3 *bits*, lo que indica que la protección de canal es intermedia. Así está en UMTS. Sin embargo, en HSDPA es posible conseguir tasas de código efectiva aún mayores aplicando técnicas como *Rate Matching & Puncturing*. De este modo, la tasa de código no será fija, como en UMTS, si no que varía según las condiciones radio, al igual que la modulación. Con buenas condiciones radio el sistema no necesita proteger tanto el canal, pudiendo dar un  $R=3/4$ .

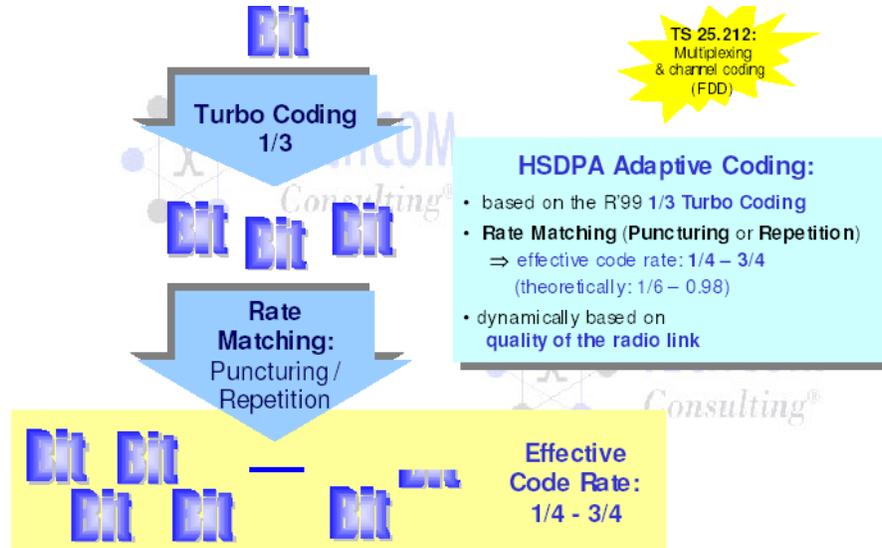


Figura 10 Codificación HS-PDSCH

Aunque en teoría la tasa de código varía entre  $R=1/6$  y  $R=0.98$ , la tasa efectiva real varía entre  $1/4$  y  $3/4$ .

Por último apuntar que es responsabilidad del Nodo B seleccionar el formato de transporte usado junto con la modulación y el número de códigos.

### 4.1.3 Canal HS-SCCH

Este canal físico está configurado únicamente en DL y transporta la señalización de nivel físico relacionado al canal HS-DSCH. Es un canal de capa física que no tiene mapeo en ningún canal de transporte. La información que transporta es necesaria para la correcta demodulación del canal HS-DSCH.

Utiliza un factor de ensanchamiento de 128, TTI de 2 ms y modulación QPSK.

Este canal tiene un desfase de 2 *time slots* respecto al canal HS-DSCH. Esto hace posible que se transporte señalización crítica en tiempo que permite al Terminal de usuario demodular los códigos correctos. El factor de ensanchamiento de 128 permite 40 bits por slot. Debido a que parte de la información debe estar disponible antes de empezar a decodificar el HS-DSCH, el canal HS-SCCH está dividido en 2 partes:

- La primera parte contiene la información necesaria para el correcto desensanchamiento de los códigos así como la información de la modulación usada.
- La segunda parte contiene información menos urgente como los procesos ARQ transmitidos. También si se trata de una nueva transmisión o una retransmisión. Por último, la versión de redundancia y constelación usadas así como el tamaño de los bloques de transporte es también transmitida en esta parte.

HS-SCCH usa una codificación *half rate convolution* donde las dos partes son codificadas de forma separada una de otra debido a las restricciones temporales que presenta la primera de ellas, pues debe estar disponible inmediatamente después de la duración del primer *slot*, de modo que no puede sufrir posteriores operaciones (como entrelazado con la segunda parte).

Este canal permite compartir de forma eficiente de 1 o más canales HS-DSCH entre diferentes usuarios. En cualquier caso, cada usuario es informado en el canal DCH (a través de mensajes RRC) sobre el grupo de canales HS-SCCH que debe monitorizar para recibir datos vía HS-DSCH.

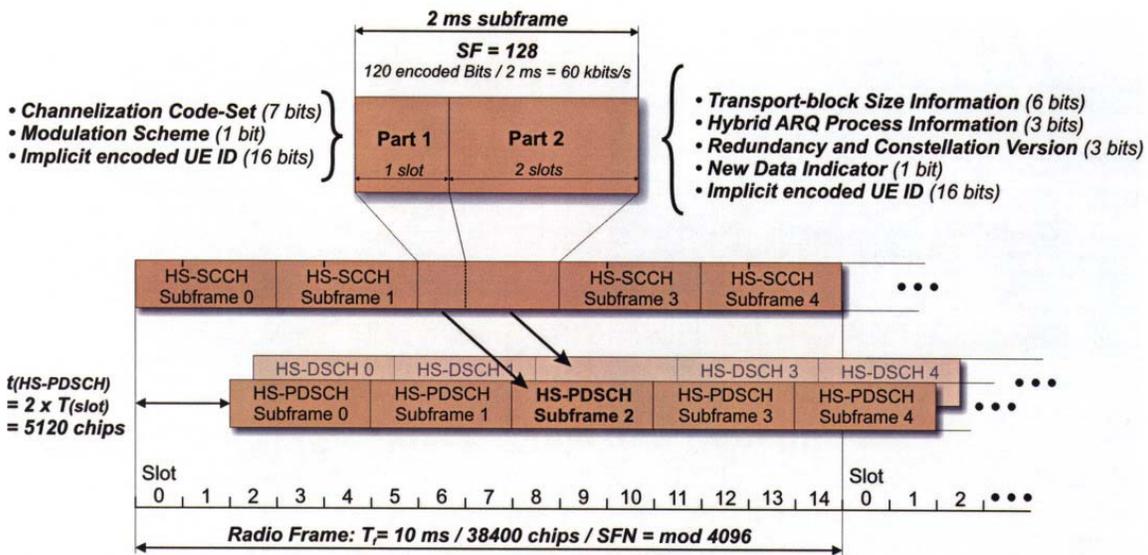


Figura 11 HS - SCCH

Como se observa en la figura anterior, la parte 1 del canal HS-SCCH, contiene la información crítica, esto es, los códigos de canalización, el esquema de modulación y el identificador del usuario o terminal (esto último es debido a que los canales HS-SCCH son compartidos por los usuarios de cada celda).

En general el canal HS-SCCH transmite a los terminales la siguiente información:

- **La identidad del Terminal** al cual está siendo referenciado, dentro de la Programación o *Scheduling*. Es decir, se indica el Terminal al cual va dirigido toda la información necesaria para decodificar el HS-PDSCH.
- **Transport Format and Resource Indicator (TFRI)**  
Incluye la información del formato de transporte HS-DSCH, como el tamaño de bloque y el esquema de modulación (*QPSK* o *16QAM*).  
También contiene la configuración de códigos de canalización del HS-PDSCH que son asignados al Terminal para el Intervalo de Tiempo de Transmisión que le ha sido asignado. Actualmente en UMTS esta información es enviada a través de señalización RRC.
- **Información relativa a HARQ**  
Incluye la información relativa al protocolo HARQ en el correspondiente Intervalo de Tiempo de Transmisión HS-DSCH, así como la versión de redundancia, esto es, si es la primera transmisión HARQ o si es una retransmisión.

## 4.2 Configuración del nivel físico

Una vez comentados los nuevos canales físicos y sus características, es interesante describir cómo interactúan entre sí para definir la configuración del nivel físico.

En la figura 38 vemos un ejemplo de esta configuración.

La configuración de canales en el enlace descendente consiste en uno o varios HS-PDSCHs asociados a un DPCH y que van asociados a su vez con un número de canales físicos de control compartidos, HS-SCCHs. El conjunto de HS-SCCHs asignados a un terminal en un momento determinado se denomina *HS-SCCH set*. La red puede usar más de un *HS-SCCH set* en una celda determinada, pero sólo uno está asociado a un terminal. Esta asignación *HS-SCCH set* ↔ configuración HS-PDSCH se realiza vía señalización RRC.

El número de HS-SCCHs por *HS-SCCH set* desde el punto de vista del terminal puede variar desde 1 a un máximo de 4. En un primer momento, el terminal debe monitorizar continuamente todos los canales HS-SCCHs que pertenecen al *HS-SCCH set* que le ha sido asignado por señalización RRC, ya que aún no tiene ningún Intervalo de Tiempo de Transmisión asignado. Una vez lea su identidad en uno de los HS-SCCH monitorizados, sabrá que el siguiente HS-PDSCH contendrá información para él, el cual puede decodificar precisamente por la información leída en el HS-SCCH. Eso sí, la información de control contenida en el HS-SCCH debe ser consistente con las capacidades del terminal. De no ser así, no empezará a decodificar el HS-PDSCH subsiguiente. Si la información es consistente, decodificará el HS-PDSCH y deberá monitorizar un único HS-SCCH dentro del *HS-SCCH set*. Es decir, no tendrá que leerlos todos nuevamente. En

la figura 38 tenemos una celda HSDPA con 5 códigos definidos (pueden definirse hasta 15 como máximo). Se observa cómo el Terminal #3 de la figura (color rojo) únicamente debe leer, a partir de la subtrama 3, el primer HS-SCCH entre el total de 4 HS-SCCHs que componen el HS-SCCH *code-set*, para poder decodificar las subtramas HS-DPSCHs siguientes destinadas a él.

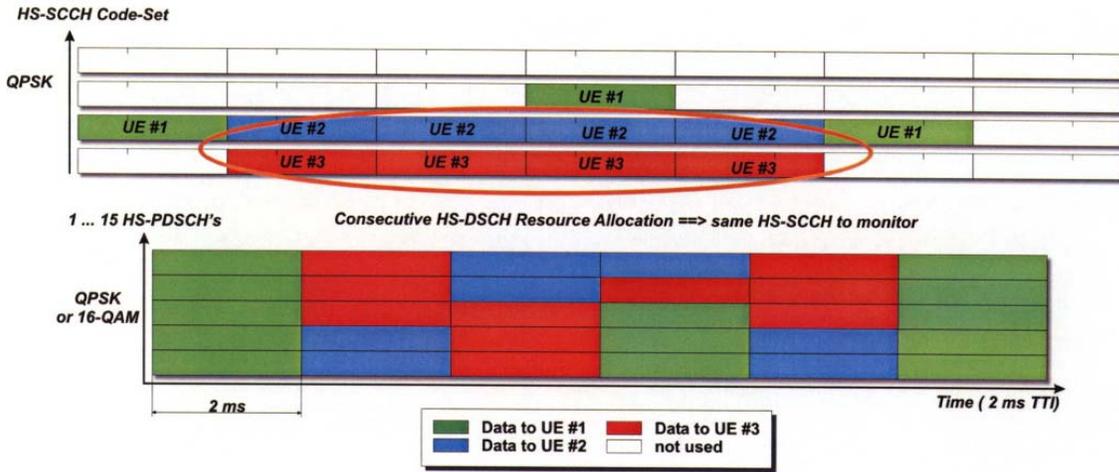


Figura 12 Configuración del nivel físico

Cada canal HS-SCCH tiene 3 intervalos de duración que son divididos en dos partes funcionales. El primer intervalo o *slot*, que corresponde con la **primera parte funcional**, indica justo el inicio del proceso de demodulación para evitar *buffering* excesivo a nivel de chip, en el terminal. Es una información crítica desde el punto de vista temporal. Los siguientes dos intervalos, **segunda parte funcional**, tienen información sobre el CRC para comprobar la validez de la información recibida en el canal HS-SCCH y aquella información referente al procesamiento de HARQ. Como medida de protección, ambas partes van enmascaradas con la identidad del terminal, de manera que el terminal puede identificar si la información de control es efectivamente para él.

Los parámetros de la primera parte del HS-SCCH indican lo siguiente:

- Códigos que fueron utilizados en el ensanchamiento. Dependiendo de la categoría del terminal, éstos pueden extraer hasta un máximo de 5, 10 ó 15 códigos.

Nota: Esto no quiere decir que únicamente pueda soportar 5, 10 ó 15. Por ejemplo, los terminales que soportan hasta 5, característica ligada a su categoría, pueden extraer de uno a un máximo de cinco códigos simultáneamente.

- Tipo de modulación usada, *QPSK* o *16QAM*.

Los parámetros de la segunda parte del HS-SCCH indican lo siguiente:

- Información de la versión de redundancia para la correcta decodificación y combinación con las posibles transmisiones anteriores.
- Número de proceso ARQ, necesario para saber a qué proceso ARQ pertenecen los datos.
- Información sobre si la transmisión de los datos es por primera vez o, en caso de que sea una retransmisión, el número de la misma. De este modo, el Nodo B sabe si los datos deben ser combinados con los ya existentes en el buffer de almacenamiento (en caso de que no se hayan decodificado correctamente las tramas anteriores) o si el buffer debe ser vaciado y rellenado con nuevos datos.

Parámetros tales como la codificación de canal actual no son señalizados explícitamente, pero pueden ser extraídos a partir del tamaño del bloque de transporte y otros parámetros del formato de transporte.

Existe una diferencia de tiempo fija entre el comienzo del canal HS-SCCH y el comienzo de la correspondiente subtrama HS-PDSCH, las cuales componen el canal de transporte HS-DSCH. De este modo, el terminal sabe cuando empieza su intervalo de tiempo concedido. La duración del intervalo es igual a un *TTI*, que corresponde a 2 milisegundos.

Como se muestra en la figura 39, el terminal dispone de un solo intervalo de tiempo para determinar los códigos a utilizar en la extracción del HS-DSCH.

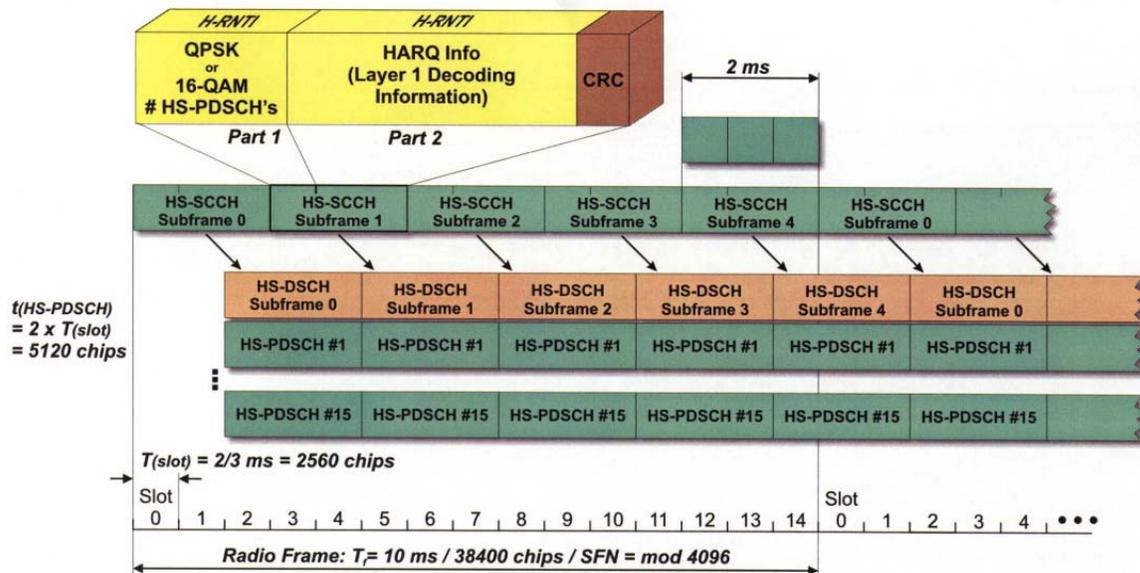


Figura 13 Relación de tiempo entre el HS-SCCH y HS-DSCH

### 4.3 Operación a nivel físico

En este apartado se van a describir de forma cronológica las tareas a nivel físico necesarias en HSDPA.

En el Nodo B (Scheduler) se decide cuál de los terminales pendientes de recibir datos en DL es el siguiente en la asignación del Intervalo de Tiempo de Transmisión o *TTI*.

Una vez se ha decidido qué Terminal será servido para un determinado *TTI*, el Nodo B identifica los parámetros de los canales HS-PDSCH en función de los códigos disponibles, de las posibilidades y limitaciones que presenta el terminal y el propio Nodo B o de los recursos de potencia del Nodo B. Por ejemplo, si el Nodo B no soporta 16 QAM, todos los canales HS-PDSCH se modulan en QPSK. El tamaño del buffer del terminal también define qué tipo de Proceso HARQ se va a utilizar.

Por señalización RRC se atribuye un *HS-SCCH set* al terminal, el cual empieza a monitorizar. El Nodo B empieza a transmitir el canal HS-SCCH dos intervalos antes del correspondiente HS-PDSCH para informar al terminal de los parámetros y características de dicho canal. Asumiendo que no hubo datos para el terminal en la trama HS-PDSCH previa, la selección por parte del Nodo B del HS-SCCH dentro del *HS-SCCH set* es libre.

El terminal monitoriza los canales HS-SCCHs dados por la Red UTRAN. Una vez decodifica la primera parte de un canal HS-SCCH, detectará que la trama va dirigida para él y empezará a decodificar el resto de ese canal HS-SCCH. Gracias a la decodificación de esa primera parte, el terminal dispone ya de aquellos códigos que el Nodo B utilizó para el ensanchamiento de la información antes de su transmisión en DL a través de los canales HS-PDSCHs. De esta forma, está en disposición de realizar la operación inversa y extraer la información contenida.

Una vez el terminal ha conseguido decodificar los parámetros de la segunda parte del canal HS-SCCH, éste puede determinar a qué Proceso ARQ pertenecen los datos y si es necesario combinarlos con los datos que ya tiene almacenados en el buffer.

Una vez tenga decodificados la combinación de nuevos datos con los ya almacenados (si se diese el caso), el terminal envía un reconocimiento al Nodo B (ACK/NACK), dependiendo de si el resultado del CRC en cada canal HS-PDSCH particular ha sido positivo o negativo. Sólo hay un reconocimiento por canal de transporte HS-DSCH. Si el canal de transporte HS-DSCH está compuesto por, supongamos, 5 canales físicos HS-PDSCHs y sólo uno de ellos tiene un resultado de CRC negativo, el canal de transporte total es reconocido con un NACK.

Si la Red continúa enviando datos al mismo Terminal en *TTIs* consecutivos, el terminal seguirá monitorizando el mismo HS-SCCH que fue usado durante el anterior *TTI*.

Este proceso tiene unas estrictas restricciones temporales para el terminal, desde que recibe en el enlace descendente el HS-PDSCH, a través de la decodificación del HS-

SCCH, hasta que envía el acuse de recibo en el enlace descendente a través del HS-DPCCH. Desde el punto de vista del terminal hay 7.5 intervalos de tiempo desde la finalización del TTI del canal HS-PDSCH hasta el comienzo de la transmisión del HS-DPCCH en UL.

En la figura 40 se muestra la relación temporal entre el enlace descendente y el ascendente. La Red es asíncrona en cuanto al envío de retransmisiones en el DL, de modo que, dependiendo de la implementación del Nivel Físico, los tiempos empleados por el Nodo B en la Programación pueden variar.

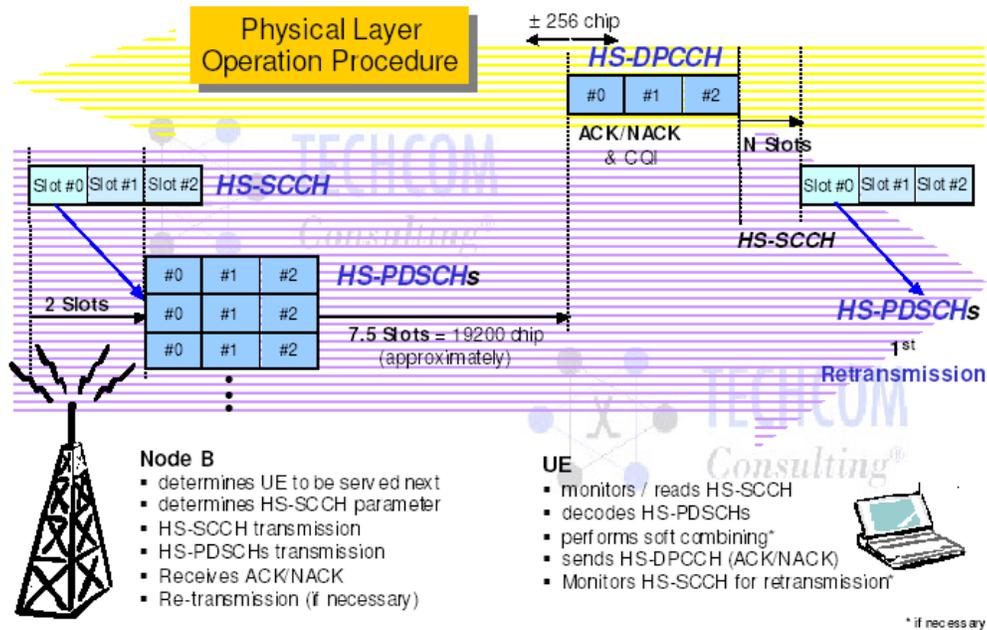


Figura 14 Temporalización Nivel Físico

#### 4.4 Adaptive Modulation and Coding (AMC)

AMC es un algoritmo de *Link Adaptation*, un proceso por el cual el sistema modifica sus parámetros radio según las condiciones del enlace radio. Entre otras ventajas podemos citar:

- **Disponibilidad de mayor tasa de transferencia**, ya que el tipo de modulación puede variar entre subtramas consecutivas.
- **Reducción de la interferencia** gracias a la adaptación del enlace basada en variaciones de codificación y modulación, en lugar de variaciones en la potencia transmitida. La idea es que en HSDPA se transmita con menos potencia en DL

teniendo en cuenta un porcentaje de retransmisiones del 10% al 30%. Así conseguimos que la interferencia total del canal descendente sea menor que la producida por usuarios UMTS operando con portadores 384 kbit/s. Existen simulaciones que prueban este hecho, siempre y cuando las retransmisiones estén dentro del margen.

- **Efectividad mayor** debido a las técnicas de multiplexación de código en el tiempo y operación en multicódigo.

El principio de funcionamiento de AMC es cambiar la codificación y modulación conforme a las condiciones del canal radio. El Nodo B mantiene el nivel de potencia constante, de manera que se elimina la sobrecarga de información para el control de potencia, mejorando la eficiencia de uso de los recursos radio.

Es importante resaltar que en UMTS únicamente existe un *bit*, TPC, destinado a tareas de *Fast Power Control*, el cual se transmite cada 1/1500 segundos. Creemos que la sobrecarga no se debe tanto a la sobrecarga que supone este *bit*, si no al tiempo de procesamiento por parte de la Red.

En R'99 la calidad del interfaz radio es siempre reportada por el Terminal y se cuantifica mayoritariamente con el parámetro  $E_c/N_0$ , que es la relación entre la energía de la señal piloto C-PICH recibida y la potencia total de la señal recibida en todo el ancho de banda del canal. Se mide en el conector de la antena del Terminal. Recordemos que el piloto es transmitido de forma continua por el Nodo B.

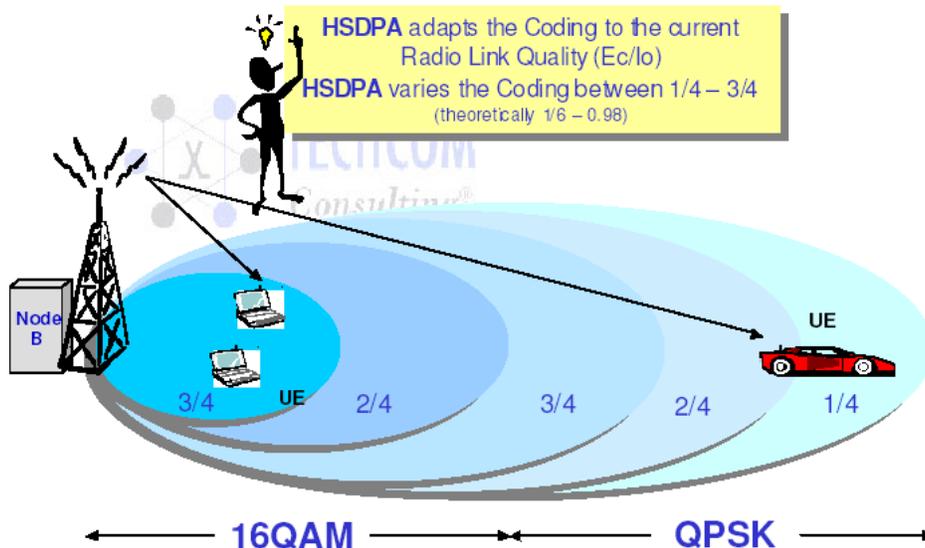


Figura 15 Principios de AMC en HSDPA

Las condiciones de canal inicial, necesarias para determinar la potencia en DL de un usuario, pueden ser estimadas a partir del DCH asociado, aplicando técnica de control de potencia (*Open Loop Power Control*). A partir de ahí, se aplica *Close Loop Power Control* para ir variando la potencia en función de las necesidades de transmisión y de la interferencia. El feedback que necesita la red para saber cómo va evolucionando el canal lo obtiene a través del DCCH asociado en UL, el cual reporta el  $E_c/N_0$  periódicamente.

En HSDPA el canal HS-DSCH tiene una potencia fija. Lo único que modifica es la modulación, la codificación, el número de códigos, el formato de bloque de transporte y un pequeño ajuste de potencia para penalizar usuarios en muy buenas condiciones. El feedback lo obtiene gracias al valor de **CQI** reportado por el Terminal en el nuevo canal HS-DPCCH. De la variación de modulación y codificación se encarga AMC. En condiciones radio favorable (normalmente cerca del Nodo B) los usuarios obtendrán modulaciones *16QAM* con una codificación efectiva de 3/4, mientras que usuarios en posiciones desfavorables (cerca del borde de la celda) tendrán asignados una modulación *QPSK* y tasa de codificación efectiva de 1/2 (ver figura 41 más arriba).

La combinación de Modulación y Codificación se denomina **Transport Format & Resource Combination TFRC**.

AMC es controlado enteramente por el Nodo B. El programador AMC es una de las claves del diseño de HSDPA. Controla la asignación del canal a los usuarios y, como extensión, determina el comportamiento global del sistema. Explota la diversidad y la ganancia estática, la cual utiliza en su beneficio.

La figura 42 muestra cómo se procesa el canal HS-DSCH en el Nodo B:

- El bloque de transporte es codificado con CRC, para que el receptor pueda detectar cualquier error de transmisión (BER).
- Los tasa de *bits* codificados son triplicados al aplicar el *Turbo Encoding*  $R=1/3$ .
- HARQ, a expensas del controlador AMC, determina la tasa de código efectiva.
- A continuación la trama de *bits* resultante son enrutados dependiendo del esquema de modulación elegido por el controlador AMC.
- El entrelazado asegura que los errores de *bits* sean distribuidos aleatoriamente, previniendo que *bits* consecutivos están afectados por la misma interferencia.
- DEMUX demultiplexa el CCTrCH del HS-DSCH en uno a varios canales físicos HS-PDSCHs.
- Los canales son ensanchados por sus respectivos códigos de canalización (SF=16).
- Los canales físicos resultantes son sumados y enviados al modulador (*QPSK* o *16QAM*).

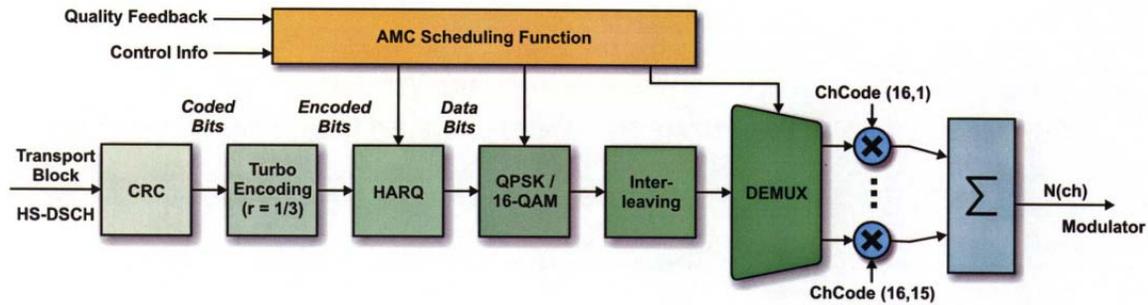


Figura 16 Procesamiento del HS-DSCH en Nivel Físico en el Nodo B

En la práctica, la implementación de AMC en UMTS no es tan sencilla como se ha explicado en este apartado. Se han de tener en cuenta una serie de limitaciones técnicas que pueden afectar a su funcionamiento. Por ejemplo, las imprecisiones en las medidas de calidad del canal radio que reporta el Terminal a la Red o el retraso de la información CQI en UL o el retraso en el tiempo de procesamiento del Nodo B.

Otro inconveniente técnico es el retraso que existe entre el tiempo en que se realizan las medidas y el tiempo en el que se hace la selección. Puede que las condiciones radio cambien entre tanto. Para paliar este efecto, AMC necesita de HARQ para que el sistema realice retransmisiones de datos de forma eficiente.

#### 4.4.1 Ejemplo tasa de transferencia.

Para mejorar la tasa de transferencia de *bits*, un usuario puede utilizar hasta 15 códigos en paralelo (dependiendo de la categoría del Terminal puede extraer hasta un máximo de 5, 10 ó 15 códigos simultáneamente). Los recursos de código restantes están destinados a la transmisión de información de control, como el DCH asociado a toda llamada HSDPA. Todo ello suponiendo que no tengamos usuarios UMTS R'99, ya que en tal caso éstos últimos tienen preferencia para la asignación de los recursos radio.

Se pueden conseguir picos de transferencia muy altos combinando 5, 10 ó 15 códigos bajo condiciones radio favorable. Usando los 15 códigos en paralelo se puede llegar a alcanzar una tasa de  $3.6 \text{ Msymb/seg}$ . Recordemos que el Factor de Ensanchamiento de cada código es fijo e igual a 16, lo que nos proporciona una tasa de  $240 \text{ Ksymb/seg}$ . La tasa de *bits* final depende del TRFC, resultado de la modulación y codificación utilizadas, según al algoritmo AMC explicado con anterioridad. Se muestra una tabla con algunos ejemplos, considerando un tiempo de transmisión de 2 milisegundos (1 *TTI*):

	Modulation	Coding Rate	Throughput with 5 codes	Throughput with 10 codes	Throughput with 15 codes
effective code rate: 1/4 - 3/4	QPSK	1/4	600 kbps	1.2 Mbps	1.8 Mbps
		2/4	1.2 Mbps	2.4 Mbps	3.6 Mbps
		3/4	1.8 Mbps	3.6 Mbps	5.4 Mbps
	16 QAM	2/4	2.4 Mbps	4.8 Mbps	7.2 Mbps
		3/4	3.6 Mbps	7.2 Mbps	10.7 Mbps
		4/4	4.8 Mbps	9.6 Mbps	14.4 Mbps

Figura 17 Tasas de Transferencia en HSDPA

En HSDPA la tasa de transferencia negociada con el Core es típicamente inferior que la tasa de pico alcanzada en el interfaz radio. Incluso si la tasa máxima negociada con el Core es 1 ó 2 *Mbps*, la capa física usaría picos de tasas más allá de 2 *Mbps* si las condiciones radio así se lo permitiesen.

#### 4.5 HARQ - Hybrid Automatic Repeat Request

La entidad H-ARQ se encarga de las retransmisiones cuando son necesarias (según el esquema definido) y de la codificación para protección de errores.

Hemos indicado ya que el protocolo RRC proporciona la configuración detallada del protocolo HARQ. La funcionalidad está implementada en la entidad MAC-hs, la cual termina en el Nodo B, contrariamente a como lo hace el Protocolo RLC, el cual termina en la SRNC. De este modo el retraso en las retransmisiones son muchísimo menores que en la R'99. En circunstancias normales, un reconocimiento de trama suele tardar no más de 10 milisegundos en la Capa MAC, mientras que para el RLC puede tardar hasta 100.

ARQ básicamente es un mecanismo que permite al receptor pedir retransmisiones de aquellos paquetes que ha recibido erróneamente. Los esquemas HARQ se pueden clasificar en 3 tipos, dependiendo de la complejidad de su implementación.

Los tipos o esquemas ya se describieron en el capítulo 3.2.4 aunque se repite la figura a continuación para refrescar los conceptos.

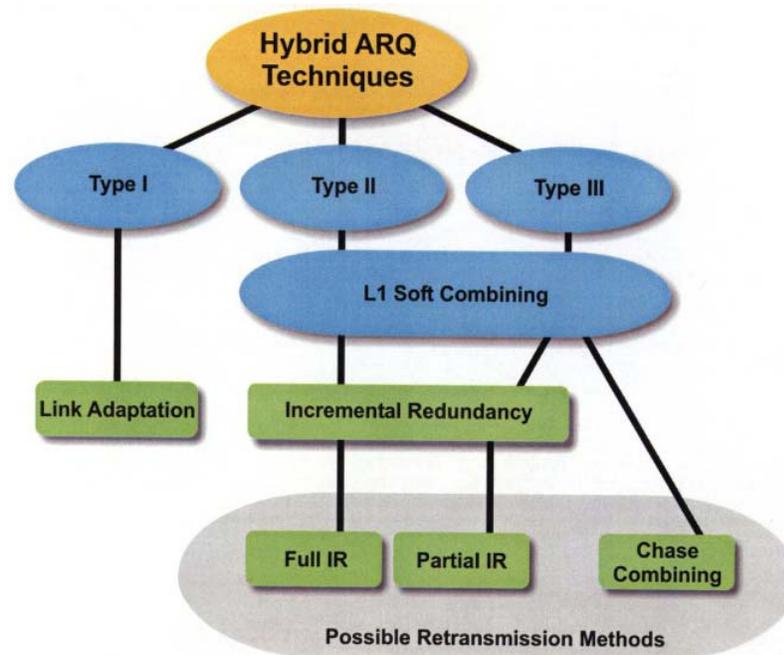


Figura 18 Métodos posibles de retransmisiones

**Soft Combining** es una técnica empleada tanto en métodos HARQ de Tipo II como de Tipo III. Se basan en el concepto de *soft bits*, que son aquellos bits que identifican al bloque de transporte codificado. Por tanto, cuando hablamos de combinación de bits de diferentes tramas, nos referimos a la combinación a nivel de *soft bits*. De este modo, con su combinación antes de la decodificación, conseguimos aumentar la relación señal a ruido, teniendo más probabilidades de decodificar correctamente la trama resultante.

Los métodos de *Chase Combining* y *Full IR* son los utilizados en HSDPA. Pasemos a describir sus características.

#### 4.5.1 *Chase Combining* o Redundancia Incremental

Ambos métodos combinan el paquete original y los paquetes retransmitidos, utilizando los *soft bits*. *Chase Combining* retransmite el mismo bloque codificado en cada retransmisión, mientras que Redundancia Incremental, en lugar de simples repeticiones, envía información redundante adicional en cada repetición hasta que se alcance la tasa binaria codificada.

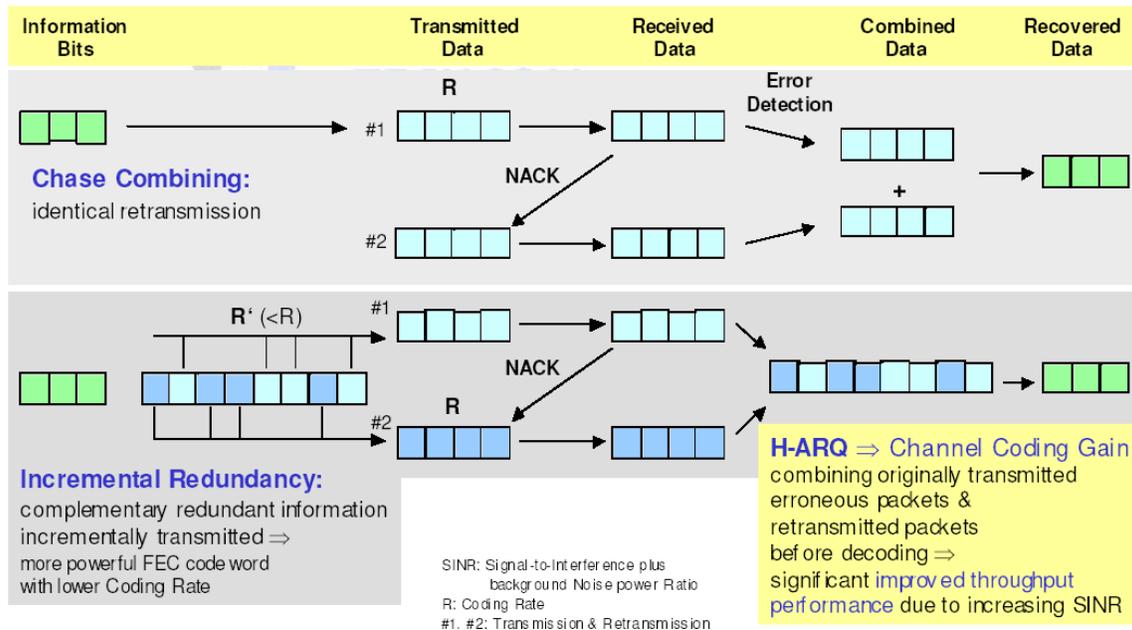


Figura 19 Diferencias entre IR y Chase Combining

El segundo método obtiene mejores resultados, pero por el contrario necesita más memoria en el Terminal, ya que las retransmisiones individuales no pueden ser simplemente añadidas, si no que necesitan cierto procesamiento. La memoria por defecto del Terminal se configura para soportar *soft combining* y para que sea capaz de obtener su máxima tasa de transferencia. De este modo, con la máxima tasa de transferencia, únicamente se puede aplicar *chase combining*, ya que con *IR* añadimos un FEC más potente a costa de una tasa menor. Con transferencias de datos menores, ambas técnicas son aplicables.

#### 4.5.2 Stop and Wait

HARQ trabaja con el protocolo **Stop and Wait (SAW)**, el cual mejora el uso de los tiempos de espera entre reconocimientos. Consiste en lanzar múltiples procesos para el mismo Terminal simultáneamente usando *TTIs* separados. Esto se denomina *N-channel SAW*, donde N está limitado a 6 para no incidir en retrasos en las retransmisiones demasiados elevados (de 8 a 12 milisegundos). Así, mientras que un canal está esperando la recepción de un reconocimiento, los N-1 canales restantes continúan transmitiendo.

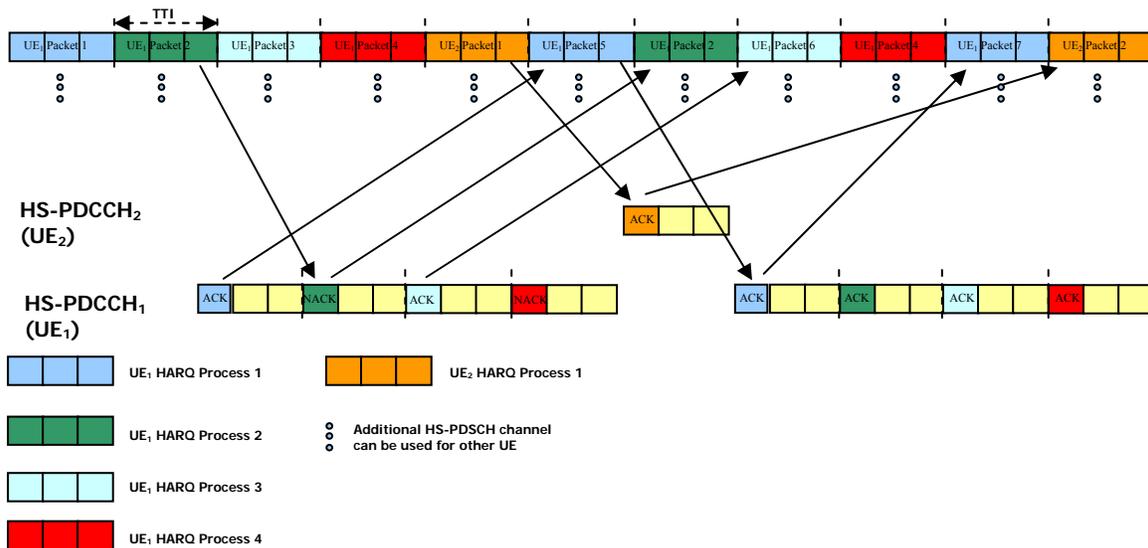


Figura 20 N Channel Stop and Wait

La figura 46 muestra la disgregación de un proceso HARQ en 4 procesos HARQ para un mismo Terminal UE1. Para el Terminal UE2 sólo hay un proceso. Se lanzan 4 paquetes en *TTI* consecutivos para el UE1, los cuales pertenecen a cada uno de los 4 procesos anteriormente mencionados. A continuación se transmite un paquete al UE2 a través del único proceso HARQ existente para dicho Terminal (color naranja). En el sexto *TTI*, el proceso HARQ #1 del UE1 envía el paquete #5, porque el paquete #1 ha sido reconocido con una ACK por el Terminal. En el séptimo *TTI*, como el paquete #2 no ha sido reconocido correctamente, el proceso HARQ #2 vuelve a enviar el paquete #2. En el octavo intervalo se envía el paquete #6 a través del proceso HARQ #3, ya que el paquete #3 llegó correctamente.

Con respecto al Terminal UE2, el paquete #1 llega correctamente, de modo que el Nodo B puede enviar el paquete #2 en el último intervalo de la figura.

### 4.5.3 Principio HARQ en HSDPA

Cuando recibe y decodifica el canal HS-PDSCH en el Intervalo de Transmisión correspondiente (*TTI*), el Terminal almacena aquellos *bits*, llamados *soft bits*, que identifican al bloque de transporte codificado. Cada vez que se recibe una transmisión, el Terminal intenta decodificar la trama recibida. Si lo hace satisfactoriamente, controlando el CRC del bloque de transporte recibido, envía un reconocimiento positivo al Nodo B (*ACKnowledgement*) y esos *soft bits* relacionados con esa trama y almacenados anteriormente son eliminados del buffer. Por el contrario, si la decodificación ha sido

insatisfactoria, el Terminal envía un reconocimiento negativo a la Red (*NACKnowledgement*) y los *soft bits* se retienen.

El Nodo B, al recibir el NACK por parte del Terminal, tiene en cuenta en su Programación que debe retransmitir nuevamente ese bloque de transporte al Terminal. Una vez llega el turno de retransmisión y el Terminal recibe por segunda vez el bloque, se combina el nuevo bloque de transporte con el primero, a nivel de *soft bits*, mejorando así la relación señal a ruido y, como consecuencia, aumentando las opciones de decodificar con éxito el bloque. Las exigencias de relación señal a ruido de las retransmisiones individuales se reducen. El proceso de retransmisiones puede ser repetido varias veces si es necesario. De esta manera, el Terminal podría finalmente ser capaz de decodificar correctamente una trama incluso si todas las repeticiones por sí mismas no han podido ser decodificadas con éxito.

Como se ha indicado anteriormente en la descripción del canal HS-SCCH, la segunda parte de éste informa al Terminal qué proceso HARQ está actualmente corriendo. El identificador de proceso HARQ indica una transmisión de bloque de transporte en curso y permanece activo tanto en el Nodo B como en el Terminal hasta que el bloque haya sido decodificado correctamente por el Terminal y el Nodo B reciba un ACK. Mientras el *bit NDI (new data indicator)* de un cierto proceso HARQ esté desactivado, todas las retransmisiones existentes pertenecen al mismo proceso HARQ.

La relación temporal fija entre la transmisión del bloque de transporte perteneciente al HS-DSCH y los subsiguientes ACK en el UL a través del HS-PDCCH hacen que el uso de la numeración en las secuencias se quede obsoleto a nivel físico; esto es, la numeración se mantiene en la capa MAC, pero no en la capa más baja, que es donde se implementa el protocolo HARQ. El efecto es doble. Por una parte, no se necesitan que las capas superiores del Terminal estén involucradas para determinar si el número de secuencia de trama es correcto o incorrecto, lo que se traduce en que todo el proceso está orientado a HW, aumentando así la velocidad al evitar retraso de procesado en capas superiores. Y por otra parte, el número de secuencia no necesita si quiera ser transmitido, reduciendo así información de sobrecarga innecesaria expuesta a errores también.

### ***New Data Indicator***

El *bit NDI* debe ser tenido en cuenta por cada proceso HARQ. Si las transmisiones de los bloques de transporte del HS-DSCH son correctamente decodificadas y notificadas por el Terminal como tal, el *bit NDI* se activa por cada bloque HS-DSCH nuevo para notificar que efectivamente los datos son nuevos. Por el contrario, si el Terminal envía un NACK al Nodo B con relación a un proceso HARQ, el Nodo B continuará con retransmisiones correspondientes a dicho proceso, y no a otro. La cantidad de retransmisiones pueden estar limitadas o supervisadas por un temporizador. Cuando el número exceda o venza el temporizador, las retransmisiones finalizan y las capas superiores actúan (es decir, el protocolo RLC sería quién tomase cartas en el asunto y se encargaría de retransmitir la información nuevamente). Las retransmisiones del mismo bloque de transporte HS-DSCH dentro del mismo proceso HARQ siempre tienen el mismo valor en su *bit NDI*, es decir, no se activa.

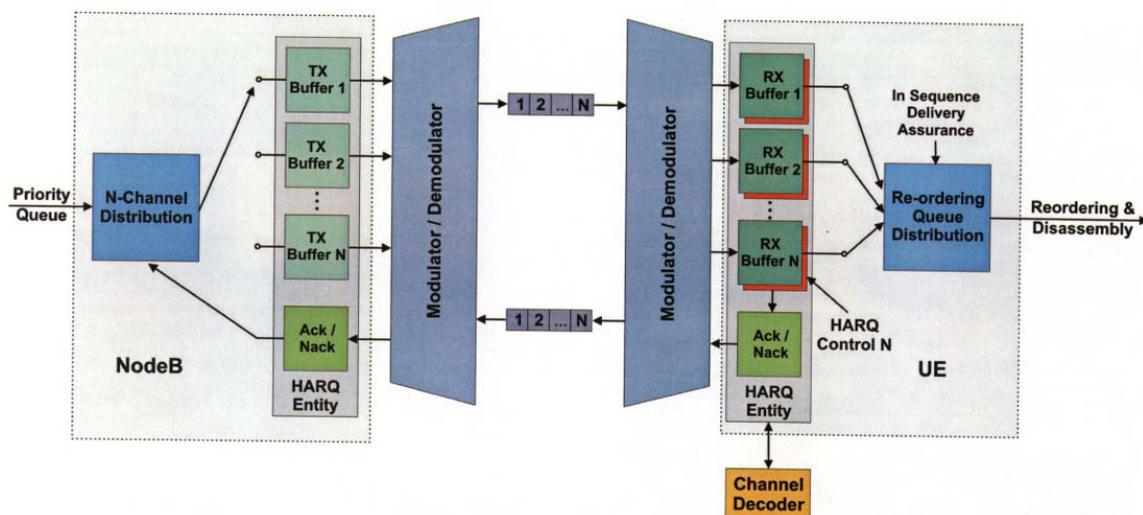


Figura 21 Principio de funcionamiento HARQ

Pasemos a comentar las funciones que desempeñan el Nodo B y el Terminal para implementar HARQ en el sistema, tal y como se muestra en la figura 47.

### HARQ en el Nodo B

- Cola de prioridad.* Los paquetes de datos MAC-hs-PDUs llegan desde diferentes colas de prioridad, identificadas a través del parámetro *Queue ID*. Dependiendo del acuse de recibo en el canal ascendente, ACK o NACK, se determina bien el envío de una retransmisión o bien el envío de una nueva transmisión para cada Terminal individualmente. Además, se calculan los parámetros *Queue ID* y *TSN (transmitted sequence number)* para cada nueva unidad de datos MAC-hs-PDU servida. Lógicamente las unidades retransmitidas mantienen sus *TSN*.
- Distribución N-Channel:* Las nuevas unidades de datos MAC-hs-PDUs son encaminadas al buffer de transmisión del proceso HARQ seleccionado. El programador determina si envía una retransmisión o bien una nueva transmisión. Una transmisión nueva puede ser iniciada en cualquier momento. Basándose en parámetros de retraso proporcionados por las capas superiores, el programador puede decidir descartar unidades de datos desfasados.
- Entidad HARQ.* Es capaz de soportar múltiples instancias N de protocolos HARQ *Stop and Wait*. Hay un proceso HARQ por HS-DSCH por *TTI* por Terminal. Por cada proceso HARQ existe un buffer de transmisión el cual habilita al Nodo B a retransmitir tramas de forma inmediata con la misma o diferente versión de redundancia una vez recibido el NACK de la correspondiente transmisión de datos en el HS-DSCH. Como se indica en la figura, mientras espera por el acuse de recibo de

una cierta MAC-hs-PDU perteneciente a un cierto proceso HARQ, puede enviar otra unidad de datos MAC-hs-PDU al mismo Terminal a través de otro proceso HARQ. De ahí que se necesite un buffer de transmisión en el Nodo B por cada proceso HARQ asignado al Terminal.

### **HARQ en el Terminal**

- *La entidad HARQ* es responsable de generar los acuses de recibo ACK/NACK de los datos recibidos en el correspondiente proceso HARQ y programa la transmisión del reconocimiento positivo o negativo relativos a dichos datos (*HARQ control N*). Para combinar las múltiples retransmisiones de la misma unidad de datos MAC-hs-PDU pertenecientes a un cierto proceso HARQ, el Terminal necesita tener un buffer por proceso.

Nota: Después de la decodificación de canal, el estudio del CRC determina si el bloque de transporte HS-DSCH es correcto o erróneo.

- *La función de distribución de colas de reordenamiento* encamina las unidades de datos MAC-hs-PDUs al buffer de reordenamiento correcto basados en el parámetro *Queue ID*.
- *Entidad de Reordenamiento y Desensamblaje*. El reordenamiento se hace conforme al *TSN* recibido en la unidad de datos MAC-hs-PDU. Aquellas unidades de datos con números de secuencia consecutivos son entregados a la función de desensamblaje después de su recepción. Las MAC-hs-PDUs no son entregadas si se han perdido unidades de datos con números de secuencia más bajos. Por último, significar que existe una entidad de reordenamiento por cada cola de prioridad configurada en el Terminal.

#### **4.5.4 Retransmisiones HARQ en HS-DSCH vs DCH R'99.**

La figura 48 muestra las diferencias que presenta HSDPA con respecto a UMTS R'99 en cuanto a las retransmisiones de paquetes de datos RLC PDUs.

### **DCH**

Todos los canales de transporte que corren bajo R'99 terminan en el RNC. De modo que el procedimiento de retransmisión de paquetes de datos está localizado en el SRNC, la cual también mantiene la conexión del Terminal con el núcleo de red o *core network*. En modo RLC-AM (*Acknowledge Mode*) la SRNC inicia un temporizador por cada RLC-

PDU enviada. Si el acuse de recibo o reconocimiento ACK/NACK de una PDU en concreto no es enviado antes de que expire, la SRNC la retransmite nuevamente. El número de veces que lo retransmite depende de la configuración del sistema (se suele usar el parámetro *MaxDat* para limitar el número de retransmisiones).

Como ya se ha indicado en apartadores anteriores, con la introducción de HSDPA, el Nodo B goza de inteligencia adicional gracias a la existencia de una nueva entidad implementada en su pila de protocolos, MAC-hs, que controla directamente las retransmisiones, disminuyendo así el retraso y la señalización asociada a ellas.

## HS-DSCH

La figura ilustra la diferencia existente entre ambas configuraciones. La RLC-PDU se envía a través de la entidad MAC-hs desde el Nodo B al Terminal. Esta entidad puede saber si que la transmisión ha sido recibida correctamente basándose en la lectura del canal físico HS-DPCCH enviado por el Terminal, el cual tiene una relación temporal fija con respecto a los canales HS-PDSCHs. Tanto si la decodificación del HS-DPCCH falla como si se recibe una NACK, la entidad MAC-hs del Nodo B programa la retransmisión de forma autónoma. Con todo, en modo RLC-AM la SRNC trabaja de igual forma con su protocolo RLC. Cada vez que envía una PDU-RLC inicia un temporizador y si no recibe un reconocimiento (negativo o positivo) antes de que el temporizador expire, entonces envía una retransmisión de ese paquete de datos. Desde el punto de vista de la entidad MAC-hs, este proceso es como una transmisión completamente nueva. Se ha de tener presente que con HSDPA el interfaz Iub entre el Nodo B y la SRNC (MAC-d) requiere de un mecanismo de control de flujo que asegure que el buffer del Nodo B se usa de forma apropiada para evitar desbordamientos y así evitar pérdidas de paquetes de datos RLC-PDUs.

La entidad MAC-hs situada en el Nodo B es responsable de la programación de las retransmisiones. Las unidades de paquetes de datos RLC (RLC-PDUs) enviadas por el SRNC hacia el Nodo B son incrustadas por la entidad MAC-hs en las unidades de paquetes de datos llamadas *MAC-hs-PDUs*. Sin embargo, el SRNC aún retiene las funcionalidades RLC de la R'99, tales como cuidar de las retransmisiones (sólo en RLC-AM), en caso de que la transmisión del HS-DSCH desde el Nodo B al Terminal falle. Este fallo puede venir determinado bien porque haya excedido el número máximo de retransmisiones en la capa física o bien porque haya expirado el temporizador T1 de liberación de MAC-hs-PDU.

El cifrado se realiza en cualquier caso a nivel RLC, para asegurar que las máscaras de cifrado permanezcan idénticas para cada retransmisión. Esto habilita la posibilidad de combinar a nivel físico las distintas retransmisiones, pues todas han sido cifradas de igual forma.

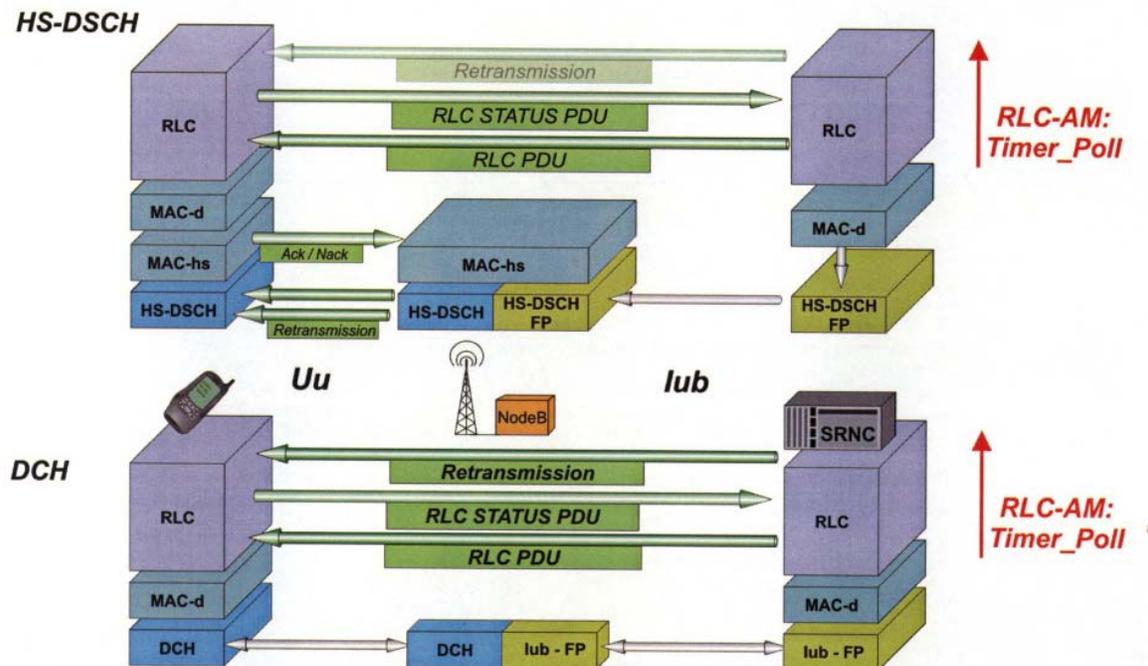


Figura 22 Retransmisiones HARQ en R'99 y R5

#### 4.5.5 Implementación física de la Funcionalidad HARQ en HS-DSCH

La funcionalidad HARQ se implementa a través de dos fases de *Rate Matching*, como se muestra en la figura 49. Puede operar de dos formas distintas. Si las retransmisiones son idénticas (mismos símbolos codificados), el principio de funcionamiento se ajusta al descrito anteriormente, conocido como *Chase Combining*. Pero también puede operar usando el principio de *Incremental Redundancy*, donde las retransmisiones no son idénticas, ya que se va incrementando la redundancia para fortalecer las retransmisiones en el interfaz aire.

La funcionalidad HARQ en el nivel físico es una extensión del *Rate Matching* de la R'99. La funcionalidad ajusta el número de *bits* a la salida del codificador turbo al total de número de *bits* disponibles en los canales físicos HS-PDSCHs dentro del *TTI*. El codificador turbo incrementa la tasa de datos del bloque de transporte por un factor de 3. El flujo de *bits*  $N(TTI)$  contiene los *bits* codificados incluyendo los *bits* de Trellis:  $x(1), z(1), z'(1), x(2), z(2), z'(2), \dots, x(k), z(k), z'(k), x(k+1), z(k+1), x(k+2), z(k+2), x(k+3), z(k+3), x'(k+1), z'(k+1), x'(k+2), z'(k+2), x'(k+3), z'(k+3)$ , los cuales son repartidos en 3 secuencias de *bits* compuestas por  $N(TTI)/3$  *bits*.

- **Bit Separation.** Esta unidad separa el flujo de *bits* en *bits* semánticos [ $x(1), x(2), \dots, x(k), x(k+1), z(k+2), x'(k+1), z'(k+2)$ ], *bits* de paridad 1 [ $z(1), z(2), \dots, z(k), z(k+1), x(k+3), z'(k+1), x'(k+3)$ ] y *bits* de paridad 2 [ $z'(1), z'(2), \dots, z'(k), x(k+2), z(k+3), x'(k+2), z'(k+3)$ ].
- **1º RM.** La primera fase de *Rate Matching* es idéntica a la funcionalidad RM presente en la R'99, excepto que el número de *bits* de salida no se ajusta con el número total de *bits* disponibles en los canales físicos HS-PDSCHs dentro del *TTI*. En su lugar, esta primera etapa ajusta el número disponible de *bits* codificados  $N(TTI)$  al tamaño del buffer virtual de *soft bits* del Terminal. El Nodo B puede saber la capacidad disponible de *soft bits* en el Terminal a través del CQI. Adicionalmente, al Nodo B se le informa al comienzo de una llamada HSDPA, con el parámetro *process memory size* incluido en el mensaje RRC *Radio Link Setup*, sobre la capacidad del Terminal en cuanto a tamaño de memoria para los *soft bits*. El elemento de información *HARQ memory partitioning* provee el número total de canales de *soft bits* que han sido repartidos de forma equitativa entre todos los procesos HARQ o bien esta información es explícitamente señalizada en el propio protocolo RRC. Entonces, la primera instancia del parámetro corresponde al proceso HARQ con el identificador 0, el segundo con el identificador 1 y así sucesivamente. El estudio detallado de elementos de información lo veremos en el siguiente punto Extensiones y Mejoras de Protocolos.

Nota: Este bloque o etapa es siempre transparente a los *bits* semánticos. Únicamente los *bits* de paridad 1 y 2 son tratados. Si  $N(TTI)$  es menor o igual que la capacidad del buffer de *soft bits* del Terminal, también será transparente a los *bits* de paridad.

- **2º RM.** Esta segunda etapa ajusta el número de *bits* de salida de la primera etapa RM al número total de *bits* disponibles en los canales físicos HS-PDSCHs. Utiliza el mismo algoritmo que el RM de la R'99. Sin embargo, únicamente considera los *bits* que han sido tratados (*punctured*) por la primera etapa.
- **RV (Redundancy Version).** Los parámetros de la segunda etapa de RM son controlados por el parámetro RV, lo cual se puede extender, en cierta manera, al resto de la funcionalidad HARQ. Esta afirmación viene del hecho de que el número exacto de *bits* a la salida de la funcionalidad HARQ depende del número de *bits* de entrada, del número de *bits* disponibles en los canales físicos del enlace radio (número de canales HS-PDSCHs y tipo de modulación) y, finalmente, también depende del parámetro RV, pues éste decide sobre la versión de la redundancia empleada.
- **Bit Collection.** La recolección de *bits* se consigue usando un interpolador rectangular. El tamaño del mismo viene determinado por el tipo de modulación y el número de *bits* codificados y ajustados. El propósito del colector de *bits* es transmitir los *bits* semánticos en las posiciones más fiables de un símbolo 16-QAM. El ajuste perfecto

existe únicamente en el caso de una tasa de código  $\frac{1}{2}$ . De otro modo, hablamos sólo de "best effort".

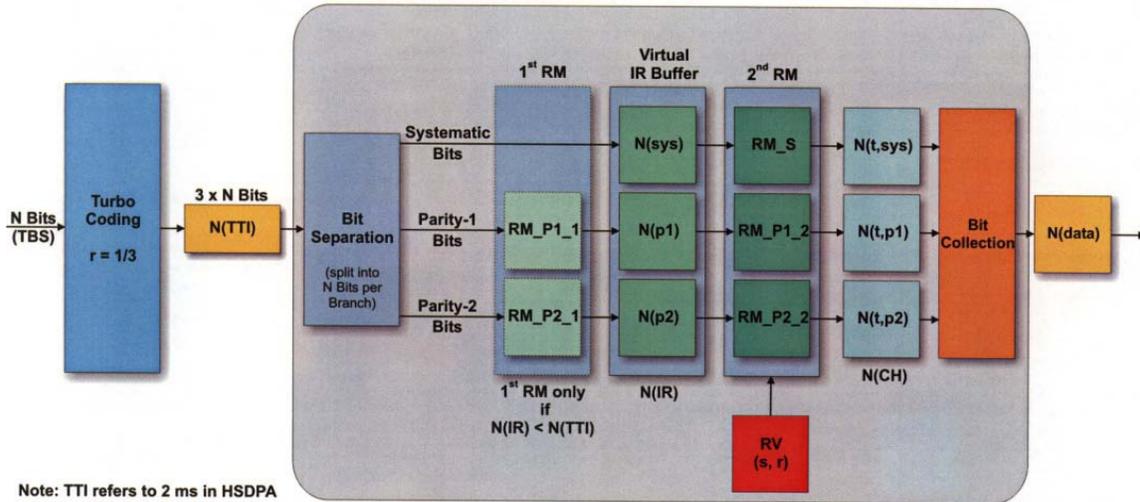


Figura 23 Esquema de funcionamiento de HARQ

A continuación vamos a describir un ejemplo para asimilar el funcionamiento:

Partiendo de un caso transmisión inicial para un terminal de **categoría 4**, con **4 procesos HARQ** que reporta un valor de **CQI = 15** con modulación **QPSK**.

Según la categoría del terminal (ver figura 13), el máximo número de bits en los procesos es 38400, que dividido en 4 procesos HARQ serían:  $38400/4 = 9600 \text{ bits} = N(\text{IR})$  en la figura 49.

Un terminal categoría 4 soporta un máximo de 5 canales HS-PDSCH con lo que según la información enviada por el terminal con CQI = 15 se le podría asignar un **TBS de 3319** que serían los **N bits**.

El cálculo de  $N(\text{TTI})$  sería:  $3 (\text{turbo código } 1/3) \times [3319 + 24 (\text{bits de CRC})] + 12 (\text{Bits de Trellis}) = 10041 \text{ bits} = N(\text{TTI})$

Se separan estos bits en tres cadenas correspondientes a los bits semánticos, los de paridad 1 y los de paridad 2 procedentes de la turbo codificación. Cada cadena tendrá por tanto **3347 bits**.

En la Primera Fase del "Rate Matching" - 1st RM, debemos ajustar estos bits a la memoria virtual de cada proceso HARQ del terminal,  $N(\text{IR}) = 9600$ . Los bits semánticos no se tocan por lo que hay que hacer una eliminación o "puncturing" de  $10041 - 9600 = 441 \text{ bits}$  entre los bits de paridad 1 y 2. En una rama se eliminan 220 y en la otra 221.

Entonces previo a la segunda fase de Rate Matching se tiene:

$N(\text{sys}) = 3347$ ,  $N(\text{p1}) = 3126$  y  $N(\text{p2}) = 3127$ .

La segunda fase de RM se encarga de que a la salida  $N(\text{CH})$  sea igual a  $N(\text{data})$  o la **capacidad del canal radio** que según la modulación y Máximo número de canales HS-PDSCH sería:

$$2 \text{ bits/simbolo} \times 240 \text{ Ksps} \times 5 \text{ canales} \times 2 \text{ ms} = 4800 \text{ bits cada TTI} = 2 \text{ ms.}$$

Recordar que  $\text{SF}=16$  para los HS-PDSCH  $\rightarrow 3,84 \text{ Mcps (WCDMA)} / 16 = 240 \text{ Ksps}$

**$N(\text{data}) = 4800 \text{ bits.}$**

$N(\text{data}) - N(\text{IR}) = 9600 - 4800 = 4800$  que hay que eliminar en la segunda fase de RM.

De nuevo al tratarse de una nueva transmisión se eliminan de las cadenas de paridad y no de los bits semánticos. Entonces a la salida de la fase 2 de RM:

$$N(\text{t, sys}) = 3347, N(\text{t, p1}) = 726 \text{ y } N(\text{t, p2}) = 727. \text{ Con esto } N(\text{CH}) = N(\text{data}) = 4800$$

Si las condiciones radio fueran buenas y se consiguieran decodificar correctamente, sin necesidad de retransmisiones, tasa de codificación efectiva sería de:

$$R = 3319/4800 = 0,7 \text{ lo que es mayor al inicial del turbo código } 1/3.$$