

## Capítulo 4.

### Optimización del Ancho de Banda.

---

#### 4.1 Introducción

Las comunicaciones inalámbricas, y en particular la telefonía móvil han invadido rápidamente la vida cotidiana. Este suceso ha disparado rápidamente los avances tecnológicos, así como la investigación de modelos matemáticos y de los algoritmos de optimización de la planificación y de la gestión de decisiones. La principal contribución de la optimización en este campo es la mejora de la forma en que la escasez de recursos (banda de transmisión, antenas) se utilizan, y para mejorar la calidad de servicios (ancho de banda y tiempo de transmisión).

En la planificación y la gestión de un sistema celular, deben considerarse una serie de aspectos, incluyendo estimación de tráfico, propagación de la señal, posicionamiento de la antena, la asignación de capacidad, la programación de la transmisión, control de potencia e interferencia. La mayoría de estos aspectos dan lugar a interesantes y desafiantes problemas de optimización que deben tener en cuenta las peculiaridades específicas de la red.

Aunque la gestión de redes celulares, en particular las de tercera generación, también dan lugar a problemas de optimización de interés tales como la asignación de códigos y programación de paquetes, no consideramos esta clase de problemas aquí.

El sistema de telefonía móvil ofrece servicios de telecomunicaciones por medio de un conjunto de estaciones base (BS's) que puede manejar las conexiones de radio con la estación de telefonía móvil (MS's) dentro de su área de servicio. Este tipo de

zona, llamada celda, es el conjunto de puntos en los que la intensidad de la señal recibida de la estación base (BS), objeto de examen, es mayor que la recibida de otra BSS. El nivel de potencia recibida depende de la potencia de transmisión, en los efectos de atenuación de la señal de propagación desde el origen hasta su destino (pérdida en el camino debido a la distancia, múltiples efectos en el camino, sombreado debido a los obstáculos, etc.), así como las características de la antena y configuraciones de parámetros como la potencia de emisión máxima, altura, la orientación y diagramas. Como resultado, las células pueden tener diferentes formas y tamaños dependiendo de la ubicación y los parámetros de configuración, así como de la propagación.

Cuando los usuarios se mueven en un área de servicio que cruza los límites de la célula, la continuidad del servicio es garantizada debido al proceso de handover. Durante los handovers la conexión es usualmente conmutada de una estación base (BS) a otra (hard-handover). En algunos casos, conexiones simultáneas con dos o más BSs pueden ser usadas para mejorar su eficiencia.

A fin de permitir muchas conexiones simultáneas entre las BSs y las MSs, la banda de radio viable para las transmisiones se divide en canales de radio por medio de una técnica de acceso múltiple. En la mayoría de los sistemas de segunda generación (tales como GSM y DAMPS) las ondas de radio son primero divididas en diferentes frecuencias usando FDMA (Acceso por División de Frecuencia Múltiple) y después de cada transportador unos pocos canales de radio son creados usando TDMA (Acceso por División de Tiempo Múltiple). Con conexiones bidireccionales un par de canales con soportes diferentes es usado para la transmisión de un BS a un MS (downlink) y de un MS a un BS (uplink) de acuerdo con el esquema FDD (Frequency Division Duplexing). La BS puede usar frecuencias múltiples por medio de un conjunto de transceptores (TRX).

Desafortunadamente el número de canales de radio obtenidos de esta manera (varios cientos en sistemas de segunda generación) no son suficientes para servir a

la gran población de usuarios de servicios móviles. Con el fin de aumentar la capacidad de los sistemas de los canales de radio deben ser reutilizados en diferentes células. Esto genera interferencia que puede afectar la calidad de la señal recibida. Sin embargo, debido al efecto de la captura, si el radio entre la potencia recibida y la interferencia (suma de las facultades que reciba de interferir las transmisiones), conocido como SIR (relación señal/interferencia), es mayor que un umbral de captura,  $SIR_{min}$ , la señal puede ser correctamente decodificada.

A fin de garantizar que dicha condición se cumple en todas las operaciones del sistema de la asignación de canales de radio a la BS debe ser cuidadosamente planificado. Obviamente, mientras más densa es la reutilización de un canal, mayor es el número de canales disponibles por celda. Por lo tanto, la asignación de canal determina la capacidad del sistema. Ya que generalmente los BS's de los sistemas de segunda generación no están sincronizados, los canales de radio no pueden ser asignados de forma independiente y solo las compañías son consideradas por el sistema de reutilización. Por estas razones el proceso de asignación de canales a las células normalmente se le conoce como planificación de la capacidad o planificación de la frecuencia. Aunque la principal fuente de interferencia se deriva de la misma frecuencia (portadora), las transmisiones en frecuencias adyacentes también pueden causar interferencias por el espectro de la superposición parcial y se debe tomar en cuenta.

La planificación de un sistema móvil consiste en seleccionar la ubicación en la que se instalen las BSs, el establecimiento de sus parámetros de configuración (altura de la antena, inclinación, azimut, etc.), y la asignación de frecuencias a fin de cubrir el área de servicio y garantizar la capacidad suficiente para cada celda. Debido a la complejidad del problema, un enfoque en dos fases es comúnmente adoptado para los sistemas de segunda generación. Primero está prevista la cobertura a fin de garantizar un nivel suficiente de la señal que se recibe en el área de servicio de al menos una BS. A continuación frecuencias disponibles se asignan a las BSs teniendo en cuenta las limitaciones SIR y requerimientos de capacidad.

Los sistemas celulares de segunda generación se diseñaron principalmente para el teléfono y baja tasa de datos. Con los nuevos sistemas de tercera generación se han introducido los servicios de multimedia y de alta velocidad. Estos sistemas, como UMTS se basan en W-CDMA (Wide Band Code Division Multiple Acces, de sus siglas en inglés) y antes de la transmisión, las señales se distribuyen en una banda ancha mediante el uso de un código especial. Los códigos de propagación usados para la transmisión de señales por alguna estación (por ejemplo, una BS en enlace descendente, downlink) son mutuamente ortogonales, mientras que los que se utilizan para señales emitidas por diferentes estaciones (base o móvil) pueden ser considerados como pseudo-aleatorios. En un ambiente ideal, el proceso de difusión realizado en el extremo receptor puede evitar completamente la interferencia de las señales y reducir las ortogonales por el factor de propagación (FS), que es la relación entre la tasa de propagación de la señal y la tasa de uso. En ambientes inalámbricos, debido a los múltiples trayectos de propagación, la interferencia entre las señales ortogonales no puede evitarse por completo y el SIR está dada por:

$$SIR = SF \frac{P_{received}}{\alpha I_{in} + I_{out} + \eta},$$

Donde  $P_{received}$  es la potencia recibida de la señal,  $I_{in}$  es la interferencia total debida a la señal transmitida por alguna BS (interferencia intra celular),  $I_{out}$  es la interferencia debida a la señal de otra BSs (interferencia inter celular),  $\alpha$  es el factor de pérdida de ortogonalidad ( $0 \leq \alpha \leq 1$ ), y  $\eta$  es la potencia de ruido térmico. En el caso de uplink, debe tenerse en cuenta la no ortogonalidad y la  $\alpha = 1$ , mientras que para el downlink  $\alpha \ll 1$ .

El nivel de SIR de cada conexión depende de la potencia recibida de la señal pertinente y de la señal interferente. Estos, a su vez, dependen de las potencias emitidas, y la atenuación de los enlaces de radio entre las fuentes y destinos. Un

mecanismo de control de potencia (PC) se encarga de ajustar dinámicamente la potencia emitida de acuerdo con las condiciones de propagación a fin de reducir la interferencia como garantía de calidad.

Con un SIR basado en un mecanismo PC cada potencia emitida es ajustada a través de un procedimiento de control de lazo cerrado de modo que el SIR de la conexión correspondiente es igual al valor asignado ("target value" en el idioma inglés)  $SIR_{tar}$ , con  $SIR_{tar} \geq SIR_{min}$  (Grandhi et al., 1995).

Para los sistemas de tercera generación, un enfoque en dos fases de planificación no es apropiado porque en los sistemas CDMA el ancho de banda es compartido por todas las transmisiones y la asignación de frecuencia no es estrictamente necesaria. La capacidad de la red depende de los niveles de interferencia real que determinan los valores de SIR alcanzables. Como estos valores dependen a su vez de la distribución del tráfico, así como de la ubicación y configuración de las BSs, la cobertura y la capacidad debe ser planificada conjuntamente.

Como se describió en el capítulo 3, un controlador de estaciones base posee tres interfaces normalizadas, de las cuales, se hace un estudio acerca de optimización del ancho de banda involucrado en la interfaz A-bis, con lo cual se pretende describir las ventajas y las aplicaciones derivadas de esta optimización.

## 4.2 Optimización de la interfaz A-bis.

En la figura se muestra un mapa de la estructura de GSM en la cual se encuentra la interfaz A-bis, que es la que se aborda en este estudio para conocer una de las formas de optimización de recursos, en este caso el ancho de banda, para lograr una mayor eficiencia en los servicios de comunicaciones.

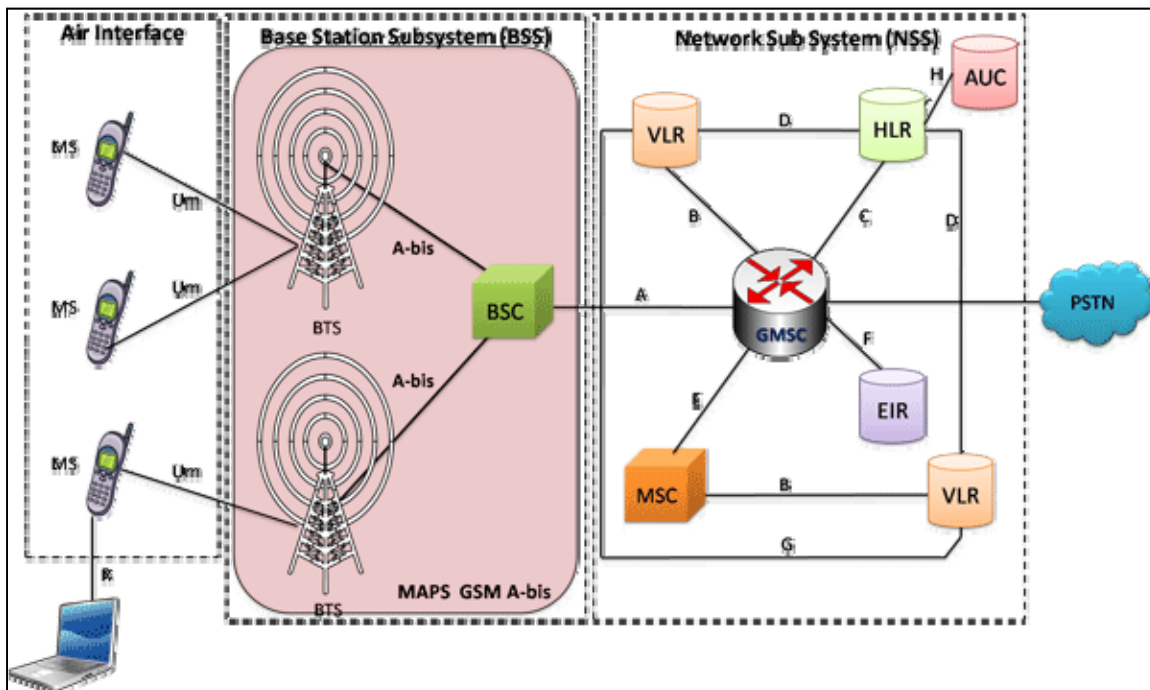


Figura 4.2.1 Interfaz A-bis de GSM.

Los servicios de voz permanecen como un interés comercial dominante para los operadores de telefonía celular y para la transmisión de la Radio Base hacia la Estación Controladora es realizada usando circuitos estáticos TDM. Esta tecnología no ha sido optimada para trasportar eficientemente el tráfico de datos.

Una solución para la optimación de la interfaz A-bis es salvar ancho de banda transmitiendo solo los bits que contienen datos, los demás bits no son enviados.

## Canales lógicos y físicos.

Cada timeslot en la trama TDM es llamado un canal físico, por lo tanto en GSM hay ocho canales por frecuencia de transporte.

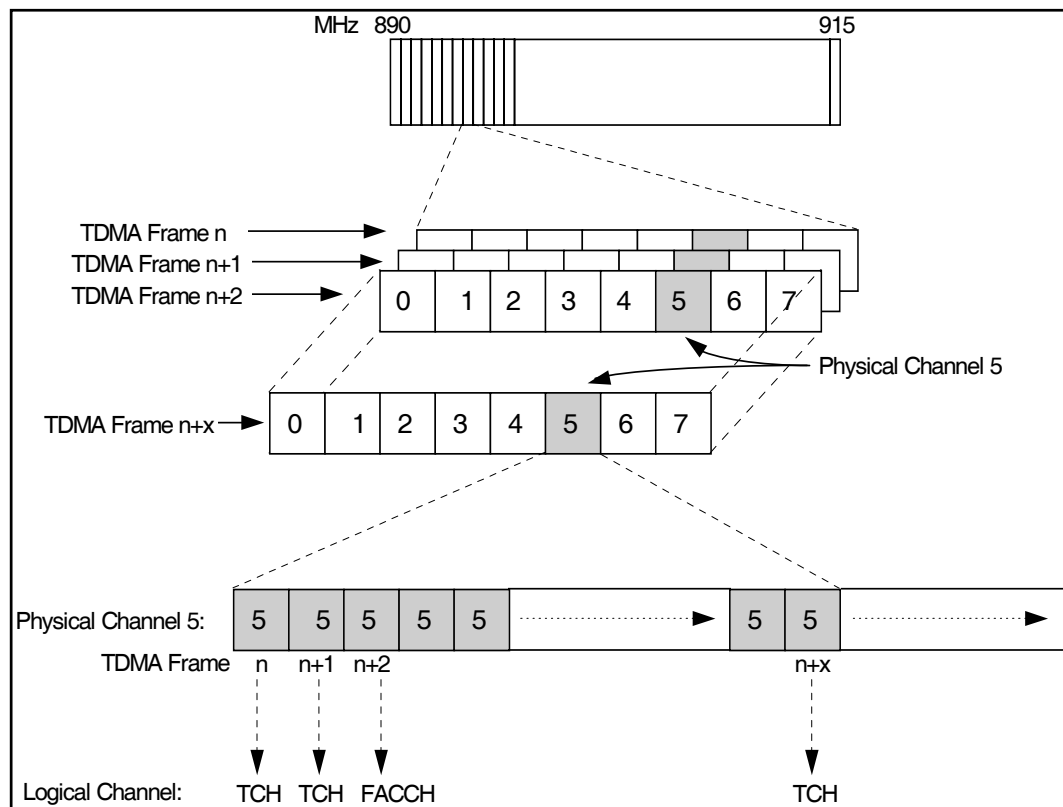


Tabla 4.2.2 Canales lógicos y físicos.

Un canal físico puede transportar diferentes mensajes, dependiendo de la información que va a ser enviada. Estos mensajes son llamados canales lógicos. Por ejemplo en uno de los canales físicos usado para tráfico, el tráfico es transmitido usando un mensaje de canal de tráfico (TCH), mientras una instrucción es transmitida usando canal asociado de control (FACCH).

## Canales lógicos.

Existen muchos tipos de canales lógicos (ver figura 4.2.3) y están diseñados para transportar diferentes mensajes hacia y desde un Suscriptor Móvil (MS).

Hay varios tipos de mensajes. La relación entre los mensajes y el canal lógico es mostrada en la figura de abajo.

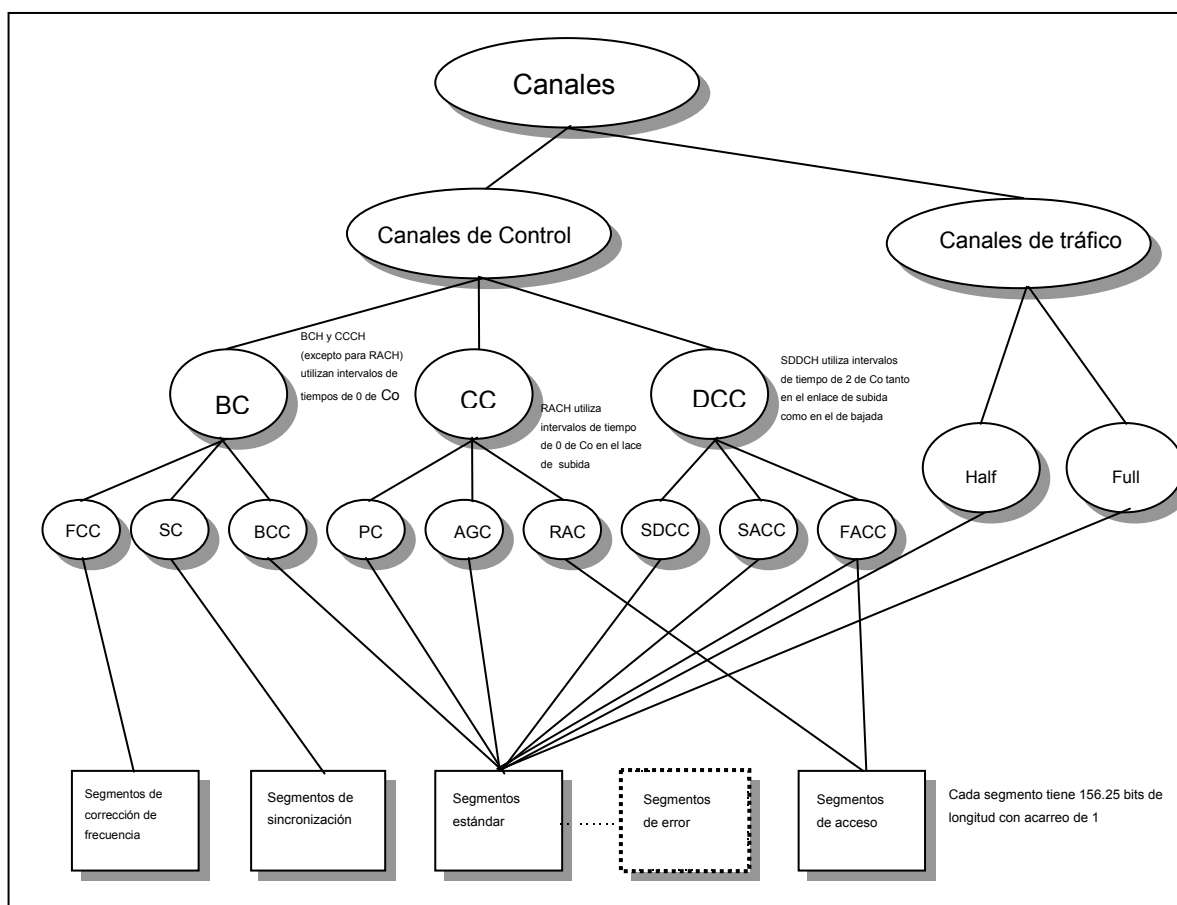


Figura 4.2.3 Canales Lógicos y Mensajes.



## Canales de control.

Cuando un MS es encendido, este busca una BTS para conectarse. El MS escanea la frecuencia u opcionalmente usa una lista de frecuencias asignadas por el operador. Cuando el MS encuentra una buena señal, debe buscar el canal de control, particularmente el Canal de Control de Transmisión (Broadcast Control Channel (BCCH)).

Una frecuencia de transporte BCCH contiene información importante para el MS, incluyendo por ejemplo información de sincronía e identidad de la red. Sin esta información, un MS no puede trabajar dentro de la red. Esta información es transmitida en un intervalo de tiempo, principalmente hacia canal de transmisión (Broadcast Channel (BCH)).

Canales de Transmisión (BCH)			
Canales lógicos	Dirección	BTS	MS
Canal de corrección de frecuencia (FCCH)	Downlink, punto multipunto	Transmite una frecuencia de transporte	Identifica BCCH por la frecuencia y se sincroniza con la frecuencia.
Canal de sincronía (SCH)	Downlink, punto multipunto	Transmite información de la estructura de la trama TDM (por ejemplo el número de trama) y la identidad de la BTS (BSIC)	Se sincroniza con la estructura de la trama dentro de una celda en particular, y se asegura que la BTS escogida sea la BTS GSM con el BSIC indicado.
Canal de control de transmisión	Downlink, punto multipunto	Transmite cierta información general de la celda, tal como	Recibe LAI y almacenará la información si no la tiene en su SIM. El MS configura el

(Broadcast Control Channel (BCCH))		Identidad de Localización del Área (LAI). Máxima potencia permitida en la celda y la identidad del BCCH de las celdas vecinas.	nivel de potencia basado en la información recibida en el BCCH. También, el MS almacena una lista de BCCH con los cuales realizará mediciones para ayudarse en un eficiente salto hacia la siguiente celda.
------------------------------------	--	--	---

Tabla 4.2.1 Canales de transmisión.

Cuando el MS ha finalizado de analizar la información de un BCH, entonces tiene toda la información requerida para trabajar con la red. Sin embargo, si el MS viaja hacia otra celda, este debe repetir el proceso de lectura del FCCH, SCH y BCCH en la nueva celda.

Si el MS desea realizar o recibir una llamada, entonces el Canal de Control Común (CCCH) debe ser usado.

Canal de control Común (CCCH)			
Canal Lógico	Dirección	BTS	MS
Canal de paginación (PCH)	Downlink, punto a punto	Trasmite un mensaje para indicar una llamada incondicional o un mensaje. El mensaje contiene el número del MS con el que desea conectarse.	En un intervalo de tiempo el MS escucha el PCH. Si es su número este responde.
Canal de acceso aleatorio (RACH)	Uplink, punto a punto	Recibe la petición del MS para un canal de señalización	Responde el mensaje dentro de un RACH para el requerimiento de un canal de

			señalización
Canal de acceso concedido (AGCH)	Downlink, punto a punto	Asigna un canal de Señalización (SDCCH) a el MS	Recibe un canal de señalización asignado (SDCCH)

Tabla 4.2.2 Canales de Control Común.

En este estado el MS y la BSS están listos para empezar una llamada. Para esto el MS y la BSS un Canal de Control Dedicado (DCCH).

Canales de Control Dedicado (DCCH)			
Canal Lógico	Dirección	BTS	MS
Canal de control dedicado stan alone (SDCCH)	Uplink y Downlink, punto a punto	La BTS conmuta hacia el canal signado SDCCH. La configuración de la llamada es realizada en un modo libre. La BSC asigna un TCH	El MS conmuta hacia el SDCCH. La configuración de la llamada es realizada. El MS recibe un canal de tráfico.
Canal de transmisión de celda (CBCH)	Downlink, punto multipunto.	Se usa este canal lógico para transmitir un mensaje corto del servicio de transmisión de la celda	El MS recibe el mensaje de transmisión de la celda.
Canal de control asociado de frenado (SACCH)	Uplink u Downlink, punto a punto	Instruye al MS de la potencia de transmisión a usar y da instrucciones del siguiente salto hacia la celda contigua	Envía el promedio de la mediciones en su propia BTS (potencia de la señal y calidad) y de la BTS vecina (potencia de la señal). El MS continúa usando el

			SACCH para este propósito durante toda la llamada
Canal de Control de asociación rápida (FACCH)	Uplink y downlink, punto a punto	Trasmite información del siguiente salto	Trasmite información necesaria para el siguiente salto hacia la celda vecina.

Tabla 4.2.3 Control de Canal Dedicado.

### **Mapeo de los canales lógicos hacia los canales físicos.**

Los canales lógicos son transmitidos dentro de un canal físico. El método para colocar los canales lógicos hacia los canales físicos es llamado mapeo. Muchos canales lógicos toman solo un time slot para transmitir y algunos toman más. Así, la información de los canales lógicos es transportada en el mismo canal físico en una consecutiva trama TDM.

Debido a que los canales lógicos son cortos, algunos canales lógicos pueden compartir el mismo canal físico.

La figura de siguiente muestra las frecuencias portadoras de una muestra de una celda, incluyendo una asignación adicional de un time slot para la información del canal DCCH.

		Time slot							
		0	1	2	3	4	5	6	7
Carrier Frequency	0	B,C	T	D	T	T	T	T	T
	1	T	T	D	T	T	T	T	T
	2	T	T	T	T	T	T	T	T
	3	T	T	T	T	T	T	T	T

Legend:  
 B: BCH  
 C: CCCH  
 D: DCCH  
 T: TCH

Figura 4.2.4 Mapeo de canales de control y tráfico hacia los canales físicos.

El Time Slot cero de la primera frecuencia portadora es una celda que siempre está reservada para propósitos de señalización.

Portadora 0, Time Slot 0.

El time Slot de la primera frecuencia portadora en la celda es siempre reservada para propósitos de señalización. En este modo, cuando un MS está determinando si una frecuencia portadora es un BCCH, este sabe donde buscar.

En downlink, la información de los BCH y CCCH es transmitido. El único canal lógico transmitido en el uplink es RACH, para tener el uplink libre y un MS pueda iniciar una llamada en cualquier momento.

Portadora 0, Time Slot 2.

Generalmente, el time slot 2 de la primera frecuencia portadora en la celda es también reservada para propósitos de señalización. La única excepción para esta área en la celda es cuando hay carga de tráfico alta o baja.

Si hay una carga alta de tráfico, es posible asignar un segundo (o más canales) canales físicos para el propósito y establecer una llamada (usando DCCH) en la frecuencia portadora 0.

Similarmente, si hay una carga baja de tráfico en la celda, es posible usar el canal físico 0 de la frecuencia portadora 0 para toda la información: BCH, CCH y DCCH. Haciendo esto, el canal físico 1 está libre para tráfico.

Ocho SDCCH y cuatro SACCH pueden compartir el mismo canal físico. Esto significa que ocho llamadas pueden ser establecidas simultáneamente en un canal físico.

Portadora 0, Time slot 1, 3 -7 y todos los time slot en otras portadores de esta misma celda.

Todos los time slot en la celda que no son usados para propósitos de señalización son usados para tráfico, por ejemplo para voz o datos, estos canales son los TCH.

### **Ejemplo de un caso de llamada.**

El siguiente caso de tráfico describe una llamada hacia un MS y sobresalta el uso de algunos canales lógicos durante la llamada.

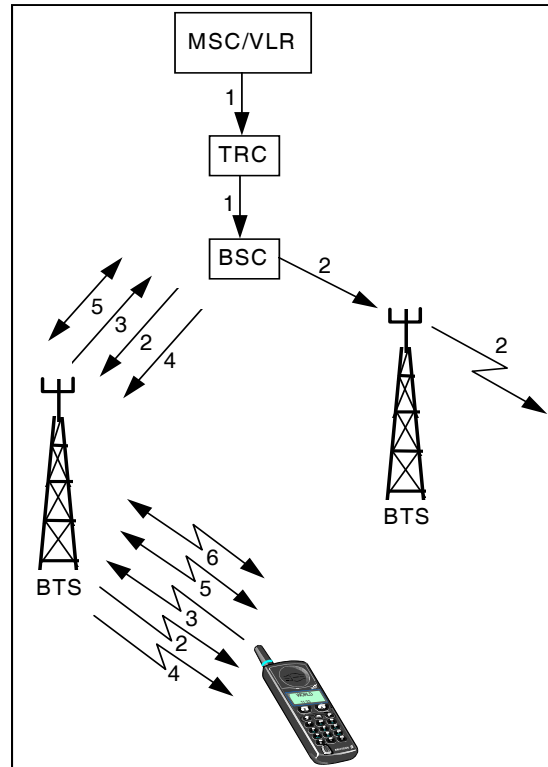


Figura 4.2.4 Llamada hacia un MS

- 1.- La MSC/VLR sabe cual es el LA donde se encuentra localizado el MS. Un mensaje es enviado a la BSC que controla el LA.
- 2.- La BSC distribuye el mensaje a las BTS en la LA designada. La BTS trasmite el mensaje en la interfaz aire usando un PCH.
- 3.- Cuando el MS detecta un PCH identificándose, este envía un mensaje requerimiento para poder utilizar un canal de señalización RACH.
- 4.- La BSC usa un AGCH para informarle al MS del canal de señalización (SDCCH y SACCH) que puede utilizar.
- 5.- El canal SDCCH y el SACCH son usados para establecer la llamada. Un canal de tráfico es asignado THC y el SDCCH es liberado.

6.- El MS y la BST conmutan hacia la frecuencia y time slot del canal de tráfico asignado TCH. El MS suena y el MS responde, la conexión es establecida. Durante esta llamada, la radio conexión es mantenida para información enviada y recibida por el MS usando el canal SACCH.

La optimización es basada en un simple concepto, el cual consiste en la transferencia de los bit que contienen datos, todos los otros bit no son insertados.

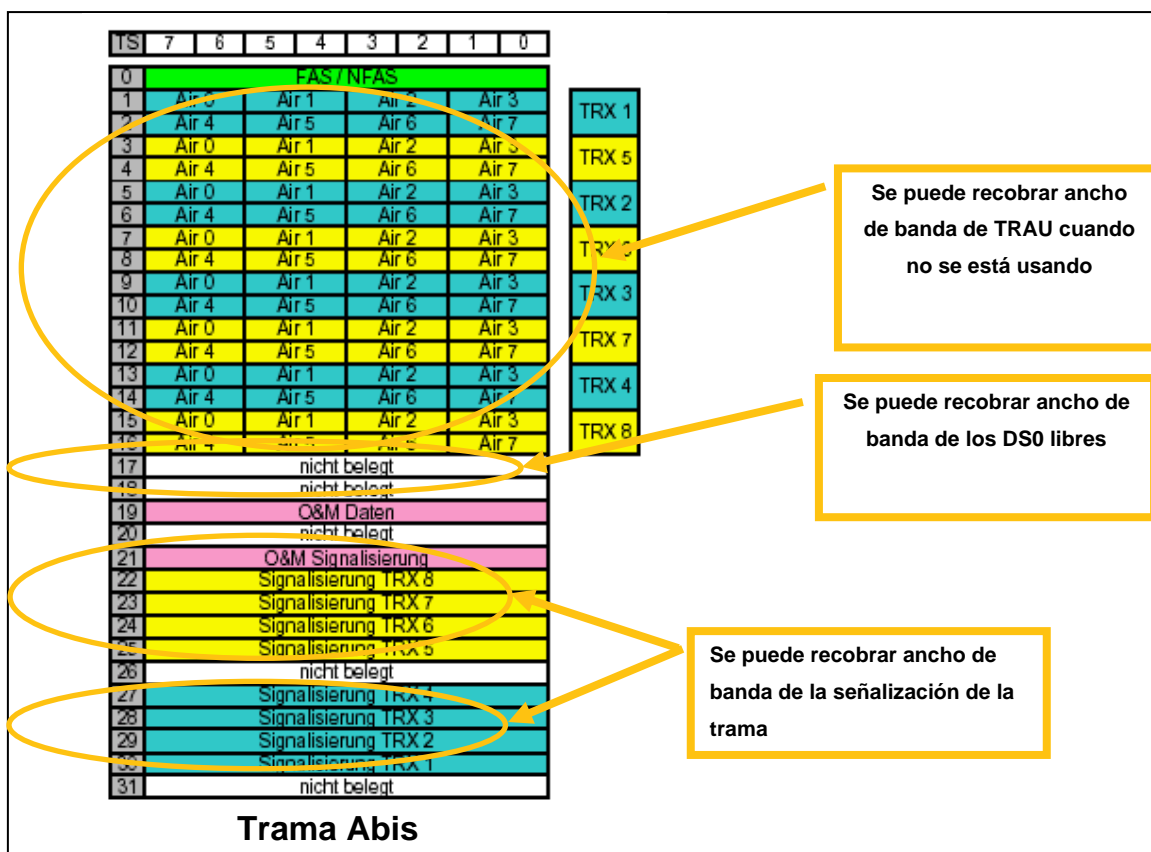


Figura 4.2.5

El ancho de banda se puede recuperar en los siguientes casos:

- DS0 o sub-canales libres.
- Cuando no se está utilizando la compresión de canales TRAU
- Cuando GPRS/EDGE no se está utilizando



En la red la optimización queda instalada de la siguiente forma.

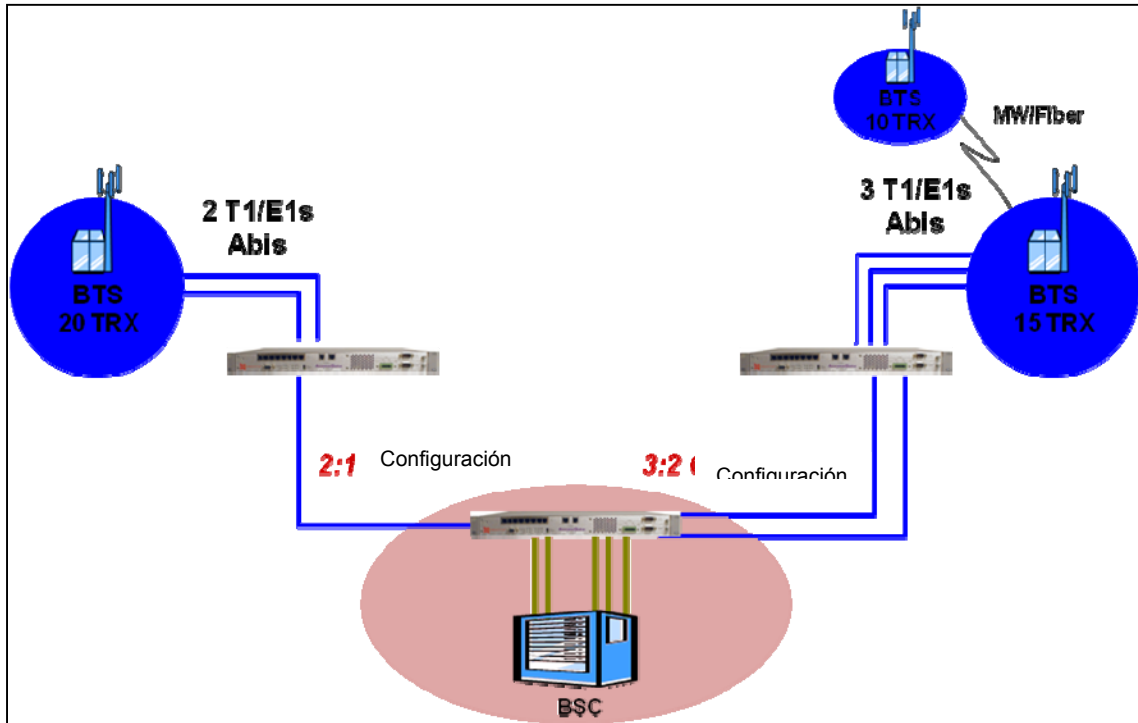


Figura 4.2.6

