

CAPÍTULO 3

GSM

3.1 Historia del estándar GSM.

El estándar de telefonía GSM comienza en 1982, cuando la Conferencia de Administraciones Europeas de Correos y Telecomunicaciones (CEPT), para tratar de solventar los problemas que había creado el desarrollo descoordinado e incompatible de los sistemas móviles celulares en los diferentes países de la CEPT, tomo dos decisiones:

- Establecer un equipo con el nombre de Groupe Special Mobile (GSM), que desarrollara un conjunto de estándares para una futura red celular de comunicaciones móviles de ámbito paneuropeo.
- Recomendar la reserva de dos subbandas de frecuencias próximas a 900 MHz para este sistema.

Los problemas más importantes eran:

- No poder disponer de un mismo móvil al pasar de un país al otro.
- No disponer de un mercado propio suficientemente extenso, con lo que se dificultaba la consolidación de una industria europea de sistemas móviles competitiva a nivel mundial.

En 1984, empieza a surgir otro factor adicional, los sistemas celulares de la primera generación, y en particular en los países del norte de Europa, experimentan una aceptación y penetración en el mercado extraordinariamente superior a la prevista.

En 1986, las cifras indicaban la saturación de la capacidad de estos sistemas para principio de la década de los 90. Ante esto surgió la tentación de utilizar parte de las subbandas de frecuencias destinadas a GSM como ampliación de las usadas por los sistemas móviles celulares de primera generación.

En consecuencia, la Comisión de las Comunidades Europeas emitió una Directiva en la que reservaban dos subbandas de frecuencias en la banda de 900 MHz, para el sistema paneuropeo, que empezaría a funcionar en 1991. Estas subbandas eran más pequeñas que las recomendadas por la CEPT. Asimismo, contemplaba que las frecuencias en estas subbandas que estuvieran siendo utilizadas por sistemas móviles celulares de la primera generación (analógicos), deberían abandonarlas en los siguientes diez años.

Mientras tanto los miembros del GSM realizaban excelentes progresos en el desarrollo y acuerdo de estándares. Se adoptó la decisión de que el sistema sería digital, en lugar de analógico, lo que redundaría en mejorar la eficiencia espectral, mejor calidad de transmisión, posibilidades de nuevos servicios y otras mejoras como la seguridad. También permitiría la utilización de tecnología VLSI de fabricación de chips electrónicos, pudiéndose fabricar móviles más pequeños y baratos, y en definitiva el uso de un sistema digital complementaría el desarrollo de la Red Digital de Servicios Integrados (RDSI) con la que GSM debe tener una interfaz.

Se siguieron haciendo progresos, y el 7 de septiembre de 1987 trece operadoras de telecomunicaciones europeas formaron un MoU (Memorandum of Understanding), para continuar con el proyecto y lanzarlo el 1 de julio de 1991. Más tarde, en 29 de febrero de 1988, se realizó una invitación extensiva a todos los operadores de telecomunicaciones involucrados en el sistema para que participaran en el proyecto.

Pronto se dieron cuenta de que había más problemas de los previstos. Por lo que llegó al acuerdo de efectuar el desarrollo de la especificación en dos fases. Además, la implantación en términos geográficos, se vislumbró que debía realizarse en fases, empezando por ciudades importantes y aeropuertos, y se seguiría con autopistas, calculando que se tardarían años en lograr un servicio completo a todo Europa.

En 1988, se inició una intensa actividad en pruebas de validación, particularmente en relación al interfaz Radioeléctrico. Como resultado se ajustaron ligeramente las especificaciones GSM y se pudo comprobar que el sistema funcionaria. Sin embargo, no se alcanzó la fecha acordada del 1 de julio de 1991 para el lanzamiento comercial del sistema GSM. A ello contribuyó:

- El retraso del desarrollo y acuerdo de pruebas de certificación.
- La necesidad de modificar algunas especificaciones GSM.
- Se tardó más de lo previsto en desarrollar terminales portátiles debido a su enorme complejidad técnica.

Fue en junio de 1992 cuando aparecieron los primeros portátiles GSM de mano. En 1990, por requerimiento del Reino Unido, se añadió al grupo de estandarización la especificación de una versión de GSM a la banda de frecuencia de 1800 ± 75 MHz. A esta variante se le llamó DCS1800 ("Digital Cellular System 1800"). El servicio comercial del sistema GSM llegó en 1992, si bien el tamaño de las áreas de cobertura y el número de usuarios era bastante dispar. Las redes que estaban funcionando se basaban en las especificaciones de la fase 1 y no todos los servicios contemplados en la fase 1 estaban disponibles.

A finales de 1993, el número de operadores que habían firmado el MoU había aumentado de trece a cuarenta y cinco, entre los que estaban la mayor parte del mundo excepto América del Norte y Japón. Treinta redes GSM estaban en servicio con cerca de un millón de abonados en todo el mundo.

A finales del 1994, el número de miembros del MoU había crecido a 102 operadores de telecomunicaciones y Administraciones Reguladores de Telecomunicaciones de 60 países. El mercado de redes y equipamientos GSM se ha extendido más allá de las fronteras de Europa Occidental. Europa del Este, la Commonwealth, Oriente, Asia, África y Oceanía son áreas donde existen sistemas GSM operativos. Actualmente la mayor parte de los firmantes del MoU no pertenecen a países europeos. Esta amplitud del mercado es la razón por la que las siglas GSM han tomado otra acepción: Global System for Mobile communications.

3.2 Designaciones técnicas.

Algunos de los propósitos del sistema estaban claros desde el principio: uno de ellos era que el sistema debía permitir la libre circulación de los abonados en Europa ("roaming"). Prácticamente hablando, esto significa que un abonado de una determinada red nacional pueda acceder a todos los servicios cuando viaja entre varios países. La propia estación móvil GSM debe permitir al usuario llamar o ser llamado donde quiera que se encuentre dentro del área internacional de cobertura.

Estaba claro también que la capacidad ofrecida por el sistema debería ser mejor que las existentes redes analógicas. Los requerimientos básicos para GSM quedaron establecidos principalmente como:

Servicios:

- El sistema será diseñado de forma que las estaciones móviles se puedan usar en todos los países participantes.
- El sistema debe permitir una máxima flexibilidad para otros tipos de servicios, por ejemplo los servicios relacionados con la RDSI (Red Digital de Servicios Integrados).
- Los servicios ofrecidos en las redes PSTN ("Public Switching Telephone Network") e ISDN ("Integrated Services Digital Network"), así como otras redes públicas deben ser posibles, en la medida de las posibilidades, en el sistema móvil.
- Debe ser posible la utilización de las estaciones móviles pertenecientes al sistema a bordo de barcos, como extensión del servicio móvil terrestre. Se debe prohibir el uso aeronáutico de las estaciones móviles GSM.
- En lo referente a las estaciones, a parte de las montadas en vehículos, el sistema debe ser capaz de suministrar estaciones de mano así como otras categorías de estaciones móviles.
- Transmisión de datos: facsímil del grupo III, conexión a sistemas de correo electrónico (X-400), envío y recepción de mensajes cortos alfanuméricos (SMS), posibilitando su lectura en la propia terminal GSM.

Calidad de los servicios y seguridad:

- Desde el punto de vista del abonado, la calidad de voz telefónica en el sistema GSM debe ser al menos tan buena como la que tenía la primera generación de sistemas analógicos a 900 MHz.

- La seguridad en el sistema GSM ofrece novedades importantes respecto a los sistemas analógicos móviles. Utiliza tarjeta de usuario para la autenticación de la validez de la llamada, encriptado, que facilita una confidencialidad total (voz, datos e identidad del abonado) e imposibilidad de utilización de equipos robados mediante la asignación previa de un número de serie a cada estación móvil.

Utilización de la radio frecuencia:

- El sistema permitirá un gran nivel de eficiencia espectral así como la posibilidad de servicios para el abonado a un costo razonable, teniendo en cuenta tanto las áreas urbanas como rurales y el desarrollo de nuevos servicios.

- El sistema permitirá la operación en el rango de frecuencias comprendido entre los 890-915 MHz y entre los 935-960 MHz.

- El sistema GSM utiliza la banda de frecuencias de 900 MHz con el método TDMA, que proporciona ocho canales telefónicos en una misma portadora y una codificación de voz a 13 Kbps, destinándose un octavo de tiempo a cada canal. Estando prevista para un futuro una codificación de voz a la mitad de velocidad (hopping de frecuencia), lo que permitiría la utilización de 16 canales por portadora.

- El nuevo sistema de 900 MHz para comunicaciones móviles del CEPT, debe coexistir con los anteriores sistemas en la misma banda de frecuencias.

Banda de frecuencia GSM	Bandas disponibles	Disponibilidad
400 MHz	450.4 - 457.6 MHz / 460.4 - 467.6 MHz 478.8 - 486.0 MHz / 488.8 - 496.0 MHz	Europa.
800 MHz	824 - 849 MHz / 869 - 894 MHz	América.
900 MHz	880 - 915 MHz / 925 - 960 MHz	Europa, Asia, Pacífico, África.
1800 MHz	1710 - 1785 MHz / 1805 - 1880 MHz	Europa, Asia, Pacífico, África.
1900 MHz	1850 - 1910 MHz / 1930 - 1990 MHz	América

Tabla 3.1 Frecuencias de GSM, [24].

Aspectos de Red:

- El plan de identificación debe estar basado en la recomendación correspondiente del CCITT (Comité Consultivo Internacional de Telecomunicaciones).
- La numeración del plan estará basada en la recomendación correspondiente del CCITT.
- El diseño del sistema debe permitir diferentes estructuras de carga y velocidades para su utilización en diferentes redes.
- Para la interconexión de los centros de conmutación y los registros de localización, se usará un sistema de señalización internacionalmente estandarizado.
- No se debe requerir ninguna modificación significativa de las redes públicas fijas.
- El sistema GSM debe habilitar la implementación de la cobertura común de las redes públicas móviles terrestres ("Public Land Mobile Network" ó PLMN).
- La protección de la información y el control de la información de la red debe ser proporcionada por el sistema.

3.3 Estructura del sistema GSM.

En lo que se refiere a la estructura básica del sistema GSM, este se organiza como una red de células radioeléctricas continuas que proporcionan cobertura completa al área de servicio. Cada célula pertenece a una estación base (BTS) que opera en un conjunto de canales de radio diferentes a los usados en las células adyacentes y que se encuentran distribuidas según un plan celular. Un grupo de BTSs se encuentran conectado a un controlador de estaciones base (BSC), encargado de aspectos como el handover (traspaso del móvil de una célula a otra) o el control de potencia de las BTSs y de los móviles. En consecuencia, el BSC se encarga del manejo de toda la red de radio y supone una autentica novedad respecto a los anteriores sistemas celulares. Una o varias BSCs se conectan a una central de conmutación de móviles (MSC). Este es el corazón del GSM como responsable de la inicialización, enrutamiento, control y finalización de las llamadas, así como de la información sobre la tarificación. Es también el interfaz entre diversas redes GSM o entre una de ellas y las redes públicas de telefonía o datos.

3.4 Organización interna de GSM.

Dentro de una breve descripción de la organización interna de GSM, podríamos identificar los siguientes subsistemas: la Estación Móvil ("Mobile Station" ó MS) y el subsistema de la estación base ("Base Station Subsystem" ó BSS) de los cuales ya hemos hablado algo. El Subsistema de Red ("Network Switching Subsystem" ó NSS) debe gestionar las comunicaciones y conectar las estaciones móviles a otro tipo de redes (como puede ser la PTSN), o a otras

estaciones móviles. Además tendríamos el Centro de Operaciones y Mantenimiento ("Operation and Service Subsystem" u OSS), que no está muy detallado en las Especificaciones de GSM. Las MS, BSS y la NSS forman la parte operacional del sistema, mientras que el OSS proporciona los medios para que el operador los controle.

3.5 Arquitectura funcional del sistema GSM.

En los siguientes apartados se describen, las entidades funcionales que constituyen el sistema GSM, describiendo su funcionalidad y las relaciones entre ellas para poder tener una idea de la estructura física del sistema, de la cual existen dos fabricantes (Motorola y Ericson) que han optados por sistemas similares pero no iguales.

3.5.1 Subsistemas en GSM.

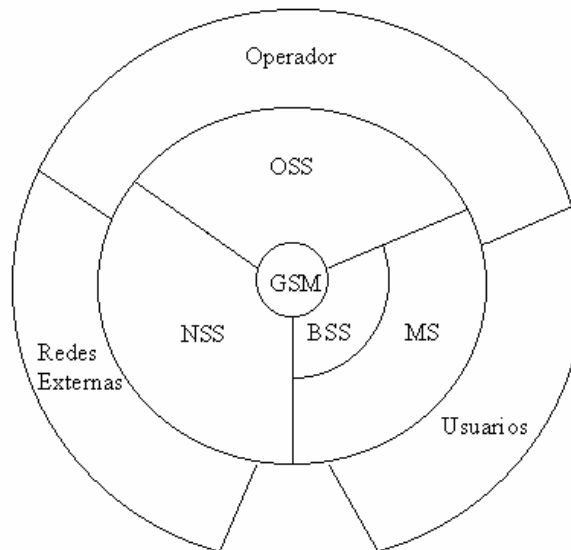


Figura 3.1 Subsistemas de GSM, [4].

3.5.1.1 Estación móvil (MS).

Una estación móvil se compone funcionalmente de dos partes:

- El Equipo Terminal (ET)
- La Terminación Móvil (TM)

El **Equipo Terminal (ET)** realiza funciones semejantes a las de un terminal RDSI y realiza las siguientes funciones:

- Transmisión.
- Gestión de canales de transmisión.
- Capacidad del terminal, incluyendo la interfaz hombre-maquina.
- Codificación de voz.
- Protección de errores.
- Control del flujo de datos de usuario.
- Adaptación de velocidad de datos de usuario y velocidad del canal.
- Soporte de terminales múltiples.
- Gestión de movilidad.

La **Terminación Móvil (TM)** puede ser de tres tipos:

- TMO Realiza las funciones anteriormente mencionadas, sin incluir ningún interfaz.
- TM1 Incluye además una interfaz RDSI.
- TM2 Incluye además interfaces CCITT series X y V.

Utilizando estos tres tipos de TM se pueden establecer las configuraciones necesarias para acceder al sistema GSM. Una estación móvil puede además clasificarse en distintos tipos según su uso o potencia de salida.

Para que una estación móvil GSM pueda funcionar necesita tener el modulo de identificación del usuario (SIM).

Existen dos tipos distintos de modulo de identificación del usuario:

- Una tarjeta inteligente que puede ser retirada de la estación móvil cuando el usuario termina de utilizarla.
- Un modulo que es incorporado dentro de la estación móvil, con el fin de estar instalado permanentemente, aunque siempre seria posible retirarlo abriendo el armazón de la estación móvil.

Este modulo es el que contiene toda la información necesaria para realizar la función de autenticación del usuario, además de otras informaciones necesarias para el sistema. El SIM debe contener la siguiente información:

- Número de serie.
- Estado del SIM (bloqueado o desbloqueado).
- Clave del algoritmo de autenticación.
- Algoritmo de Autenticación (A3).
- Identificación internacional del usuario móvil (MSI).
- Identificación temporal del usuario móvil (TMSI).
- Algoritmo de generación de claves de cifrado (A8).
- Clave del algoritmo de cifrado de señalización y datos (A5).
- Número de secuencia de la clave del algoritmo de cifrado.
- Clase de control de acceso del usuario.

3.5.1.2 Estación base (BSS).

El BSS agrupa la maquinaria de infraestructura específica a los aspectos celulares de GSM. El BSS está en contacto directo con las estaciones móviles a través de la interfaz de radio. Por lo tanto, incluye las máquinas encargadas de la transmisión y recepción de radio, y de su gestión. Por otro lado, el BSS está en contacto con los conmutadores del NSS (Network and Switching Subsystem). La misión del BSS se puede resumir en conectar la estación móvil y el NSS, y por lo tanto, conecta al usuario del móvil con otros usuarios. El BSS tiene que ser controlado, y por tanto debe estar en contacto con el OSS.

De acuerdo con la estructura canónica de GSM, el BSS incluye dos tipos de máquinas: el BTS ("Base Transceiver Station" ó Transceptor de la Estación Base), en contacto con las estaciones móviles a través de la interfaz de radio, el BSC ("Base Station Controller" ó Controlador de la Estación Base), en contacto con los conmutadores del NSS.

Un BTS lleva los dispositivos de transmisión y recepción por radio, incluyendo las antenas, y también todo el procesado de señales específico a la interfaz de radio, y que se verá con posterioridad. Los BTSs se pueden considerar como complejos módems de radio, con otras pequeñas funciones. Un BTS típico de la primera generación consistía en unos pequeños armarios (de 2 m de alto y 80 cm de ancho) conteniendo todos los dispositivos electrónicos para las funciones de transmisión y recepción. Las antenas tienen generalmente unas pocas decenas de metros, y los armarios se conectan a ellas por unos cables de

conexión. Un BTS de este tipo era capaz de mantener simultáneamente 3 ó 5 portadoras de radio, permitiendo entre 20 y 40 comunicaciones simultáneas. Actualmente el volumen de los BTS se ha reducido mucho, esperándose un gran avance en este campo dentro de GSM.

Un componente importante del BSS, que está considerado en la arquitectura canónica de GSM como que forma parte del BTS, es la TRAU (Unidad Transcoder y Adaptadora de Velocidad). La TRAU es el equipo en el cual se lleva a cabo la codificación y decodificación de la voz (fuente), así como la adaptación de velocidades en el caso de los datos.

El segundo componente del BSS es el BSC. Está encargado de toda la gestión de la interfaz de radio a través de comandos remotos sobre el BTS y la MS, principalmente, la gestión de la localización de los canales de tráfico y de la gestión del "handover". El BSC está conectado por un lado a varios BTSs y por otro al NSS (más específicamente a un MSC).

Un BSC es en definitiva un pequeño conmutador con una gran capacidad de cómputo. Sus funciones principales, como ya hemos dicho son la gestión de los canales de radio y de los handovers. Un BSC típico consiste en uno o dos armarios, y puede gestionar hasta algunas decenas de BTSs, dependiendo de su capacidad de tráfico.

El concepto de la interfaz entre el BSC y el MSC (NSS) se le conoce como interfaz A, y se introdujo al principio de la elaboración del Estándar GSM. Solamente después se decidió estandarizar también la interfaz entre el BTS y el BSC, y se le llamó interfaz Abis, sin tener nada que ver con la interfaz A.

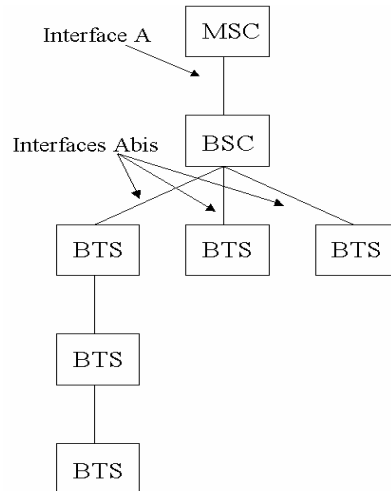


Figura 3.2 Componentes e interfaces de la BSS, [5].

Todos los sistemas del BSS: la interfaz radio, la interfaz A y el interfaz A-bis se han definido utilizando un modelo de tres capas:

- Capa 3
- Capa 2 (enlace de datos)
- Capa 1 (capa física)

La capa 1 coincide con la capa inferior del modelo OSI, y soporta todas las funciones necesarias para la transmisión de una secuencia de bits sobre un canal establecido en un medio físico de transmisión.

La capa 2 es la capa de enlace de datos, y tiene como misión de permitir el intercambio de tramas de información entre dos entidades conectadas a través de un medio físico.

La capa 3 en realidad comprende las capas 3 a 7 del modelo OSI, llegando, por lo tanto, hasta definir la naturaleza de la comunicación requerida para satisfacer las necesidades de los usuarios de la comunicación.

Para definir totalmente la interconexión del sistema, además de esa estructura de capas es necesario también utilizar funciones de gestión del sistema. Estas funciones pueden incluir funciones que son comunes a varias capas.

Funcionalidad del BSS.

- Funciones del BSC:
 - Gestión de canales en el enlace BSC-MSC.
 - Gestión de canales radio.
 - Configuración de los canales radio (recibe del OMC).
 - Gestión de secuencias de salto de frecuencia (BSC, OMC).
Estas secuencias son enviadas por el BSC hacia el BTS.
 - Selección de canal, supervisión del enlace y liberación de canal.
 - Control de potencia en el móvil. Determinación del nivel de potencia necesario en el móvil.
 - Control de potencia en la BSS.

- Determinación de la necesidad de realizar cambio de canal.
- Funciones de la BTS:
 - Gestión de canales radio.
 - Supervisión de canales libres, y envío de información de estos hacia la BSC.
 - Temporización de bloques BCCH/CCCH. Edición de mensajes de aviso.
 - Detección de accesos al sistema por parte de móviles.
 - Codificación y entrelazado para protección de errores.
 - Determinación del avance de temporización que hay que utilizar para una comunicación con el móvil.
 - Medidas de intensidad de campo y calidad de las señales recibidas de los móviles. Recepción de medidas enviadas por los móviles sobre condiciones de intensidad y calidad.
 - Opcionalmente la BTS puede realizar un pre-procesamiento.
 - Construcción de los mensajes de aviso a partir de la información recibida desde la BSC.
 - Detección de acceso por traspaso de un móvil, y comprobación de la identificación de referencia de este traspaso de acuerdo con la información recibida desde BSC.
 - Encriptación de la información de señalización y tráfico.

3.5.1.3 Subsistema de red (NSS).

El NSS incluye las principales funciones de conmutación en GSM, así como las bases de datos necesarias para los datos de los abonados y para la gestión de la movilidad. La función principal del NSS es gestionar las comunicaciones entre los usuarios GSM y los usuarios de otras redes de telecomunicaciones. Dentro del NSS, las funciones básicas de conmutación están realizadas por el MSC (Centro de Conmutación de servicios Móviles), cuya función principal es coordinar el establecimiento de llamadas hacia y desde los usuarios GSM. El MSC tiene interfaces con el BSS por un lado, y con redes externas por el otro. La interfaz con las redes externas requiere un "gateway" para la adaptación (Funciones de "Interworking"), cuya función es más o menos importante dependiendo del tipo de datos y de la red a la que se accede.

El NSS también necesita conectarse a las redes externas para hacer uso de su capacidad de transportar datos o señalización entre entidades GSM. En particular el NSS hace uso de un tipo de señalización parcialmente externo a GSM, que sigue el sistema de señalización del CCITT nº 7 (SS7); esta red de señalización habilita el trabajo interactivo entre máquinas del NSS dentro de una o varias redes GSM, es imprescindible para la operación de redes GSM a nivel internacional.

Además de los MSCs, el NSS incluye dos bases de datos que se conocen como registro de posiciones base (HLR) y registro de posiciones de visitantes (VLR). El primero analiza los niveles de suscripción, servicios suplementarios y

localización actual, o más reciente de los móviles que pertenecen a la red local. Asociado al HLR trabaja el centro de autenticación (AuC), que contiene la información por la que se comprueba la autenticidad de las llamadas con el fin de evitar los posibles fraudes, la utilización de tarjetas de abonado (SIMs) robadas o el disfrute del servicio por parte de morosos.

El VLR contiene la información sobre los niveles de suscripción, servicios suplementarios y área de localización para un abonado que se encuentra o al menos se encontraba recientemente en otra zona visitada. Esta base de datos dispone también de información relativa a si el abonado se encuentra activo o no, lo que evita el uso improductivo de la red (envío de señales a una localización que se encuentra desconectada).

El registro de identidad de los equipos (EIR) almacena información sobre el tipo de estación móvil en uso y puede eludir que se realice una llamada cuando se detecte que ha sido robada, pertenece a algún modelo no homologado o sufre de algún fallo susceptible de afectar negativamente a la red.

Pero el NSS contiene más elementos que los MSCs, VLRs y HLRs. Para establecer una llamada hacia un usuario GSM, la llamada es primero encaminada a un conmutador-gateway llamado GMSC, sin ningún conocimiento de dónde está el abonado. Los GMSCs están encargados de buscar la información sobre la posición y encaminar la llamada hacia el MSC a través del cual el usuario obtiene servicio en ese instante.

3.5.2 Central de conmutación móvil.

La Central de Conmutación Móvil es la encargada de todas las funciones de conmutación para las estaciones móviles situadas en su área de influencia (área MSC). Las principales diferencias de esta central respecto a una central de la red fija, consisten en que esta central debe tener también en cuenta el impacto de las funciones de asignación de los recursos radio y la naturaleza móvil de los usuarios.

Por lo tanto, este tipo de central implementa ciertos procedimientos adicionales a los de una central de red fija, como pueden ser, por ejemplo: la actualización de posición de las estaciones móviles, y todo lo que tienen que ver con las funciones de traspaso de llamadas en curso, cuando los móviles se van desplazando entre las células de la red móvil.

3.5.3 Central de conmutación móvil de cabecera “Gateway” (MSCC).

Es una Central de Conmutación Móvil que además se utiliza para dirigir hacia ella las llamadas originadas en la red fija. Esta central se encarga de interrogar al HLR adecuado para conocer la posición del móvil al que va dirigida la llamada, y posteriormente de encaminar la llamada hacia la central de conmutación móvil correspondiente. La elección de las centrales de conmutación móvil que van a ser además centrales de cabecera dependerá de la organización que se desee dar a la red móvil. El sistema GSM introduce respecto a los sistemas analógicos de segunda generación una mayor descentralización de las funciones de la central de conmutación móvil, pasando parte de ellas a ser realizadas dentro

de los propios sistemas de estación base. De esta forma, se consigue descargar de trabajo a la central de conmutación y agilizar en muchos casos algunos procedimientos característicos de una red móvil, como puede ser, por ejemplo, el traspaso de las llamadas en curso, al pasar el móvil de una a otra célula.

3.5.4 Unidad de interfuncionamiento (UI).

Es una entidad funcional asociada con la central de conmutación móvil. Esta unidad es la encargada de proporcionar la funcionalidad necesaria para permitir el interfuncionamiento del sistema GSM con las redes fijas (RDSI, RTC, y RTPCP). Su principal cometido es convertir los protocolos utilizados en el sistema GSM a los utilizados en las redes fijas.

3.5.5 Centro de operaciones y mantenimiento (OMC).

El OMC tiene varias tareas que realizar. Todas estas tareas requieren interacciones entre algunas o todas las máquinas de la infraestructura que se encuentra en el BSS ó en el NSS y los miembros de los equipos de servicio de las distintas compañías comerciales.

3. 6 Interfaces del sistema GSM.

En los siguientes apartados se describen, las interfaces que constituyen el sistema GSM.

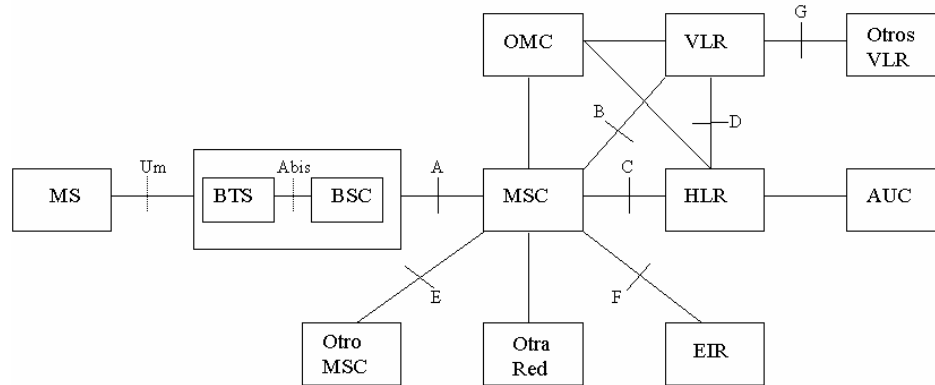


Figura 3.3 Arquitectura e interfaces de GSM, [4].

3.6.1 Interfaz Um.

La radio interfaz es utilizada por las estaciones móviles para acceder a todos los servicios y utilidades del sistema GSM, empleando para ello los Sistemas de Estación Base como punto de conexión con la red.

3.6.2 Interfaz A.

Esta interfaz es entre la MSC y el BSS, se utiliza fundamentalmente para el intercambio de información relacionada con las siguientes funciones:

- Gestión del BSS.
- Manejo de la llamada.
- Gestión de la movilidad.

3.6.3 Interfaz A-bis.

Esta interfaz es entre el BSC y la BTS, permite conectar de una forma normalizada estaciones base y controladores de estación base,

independientemente de que sean realizadas por un mismo suministrador o por suministradores distintos.

3.6.4 Interfaz B.

Esta interfaz permite una conexión entre el MSC y el VLR para tener un control de los móviles visitantes y poder ofrecerles los servicios del sistema.

3.6.5 Interfaz C.

Esta interfaz es entre el MSC y el HLR, se utiliza fundamentalmente para las siguientes funciones:

- Al final de una llamada en la que un móvil tiene que ser tarifado, la MSC de ese móvil puede enviar un mensaje de tarificación al HLR.
- Cuando la red fija no puede realizar el procedimiento de interrogación necesario para el establecimiento de una llamada hacia un usuario móvil la MSC de cabecera debe interrogar al HLR del usuario llamado para conocer el número de seguimiento del móvil llamado.

3.6.6 Interfaz D.

Esta interfaz es entre el HLR y el VLR, se utiliza para intercambiar los datos relacionados con la posición de la estación móvil y los datos de suscripción del usuario. A través de esta interfaz el VLR informa al HLR correspondiente de la posición de una estación móvil gestionada por este último registro, proporcionándole un número de seguimiento a fin de que pueda encaminar las llamadas dirigidas hacia esta estación móvil. En el otro sentido el HLR envía al

VLR que controla el área donde se encuentra la estación móvil, los datos correspondientes necesarios para soportar los servicios contratados por el usuario.

Asimismo, mediante una interfaz similar, el HLR debe informar también al VLR anterior que cancele el registro de localización correspondiente a dicha estación móvil, cuando esta estación móvil se desplaza a una nueva área VLR. Estos intercambios de datos se producen cuando la estación móvil requiere un servicio determinado, cuando el usuario quiere cambiar algunos datos relacionados con su suscripción, o bien cuando los parámetros de la suscripción se modifican por el operador del sistema.

3.6.7 Interfaz E.

Cuando una estación se desplaza del área controlada por una MSC al área de otra MSC distinta, es necesario realizar un procedimiento de traspaso para poder continuar la conversación. En este caso, las MSC deben intercambiar datos para poder llevar a cabo esta operación.

3.7 Frecuencias y canales lógicos.

GSM utiliza dos bandas de 25 MHz para transmitir y para recibir (FDD). La banda de 890-915 MHz se usa para las transmisiones desde la MS hasta el BTS ("uplink") y la banda de 935-960 MHz se usa para las transmisiones entre el BTS y la MS ("downlink"). GSM usa FDD y una combinación de TDMA y FHMA para proporcionar a las estaciones base y a los usuarios un acceso múltiple. Las

bandas de frecuencias superiores e inferiores se dividen en canales de 200 KHz llamados ARFCN ("Absolute Radio Frequency Channel Number" ó Números de Canales de Radio Frecuencia Absolutos). El ARFCN denota un par de canales "uplink" y "downlink" separados por 45 MHz y cada canal es compartido en el tiempo hasta por 8 usuarios usando TDMA.

Cada uno de los 8 usuarios usan el mismo ARFCN y ocupan un único slot de tiempo (ST) por trama. Las transmisiones de radio se hacen a una velocidad de 270.833 kbps usando modulación digital binaria GMSK ("Gaussian Minimum Shift Keying") con $BT=0.3$. El BT es el producto del ancho de banda del filtro por el periodo de bit de transmisión. Por lo tanto la duración de un bit es de 3.692 ms, y la velocidad efectiva de transmisión de cada usuario es de 33.854 kbps (270.833 kbps/8 usuarios). Con el estándar GSM, los datos se envían actualmente a una velocidad máxima de 24.7 kbps. Cada TS tiene un tamaño equivalente en un canal de radio de 156.25 bits, y una duración de 576.92 μ s como se muestra en la Figura 18, y una trama TDMA simple en GSM dura 4.615 ms. El número de total de canales disponibles dentro de los 25 MHz de banda es de 125 (asumiendo que no hay ninguna banda de guarda). Dado que cada canal de radio está formado por 8 slots de tiempo, hacen un total de 1000 canales de tráfico en GSM. En implementaciones prácticas, se proporciona una banda de guarda de la parte más alta y más baja de espectro de GSM, y disponemos tan solo de 124 canales. La combinación de un número de ST y un ARFCN constituyen un canal físico tanto para el "uplink" como para el "downlink". Cada canal físico en un sistema GSM se puede proyectar en diferentes canales lógicos en diferentes tiempos. Es decir,

cada slot de tiempo específico o trama debe estar dedicado a manipular el tráfico de datos (voz, facsímil o teletexto), o a señalizar datos (desde el MSC, la estación base o la MS). Las especificaciones GSM definen una gran variedad de canales lógicos que pueden ser usados para enlazar la capa física con la capa de datos dentro de las capas de la red GSM. Estos canales lógicos transmiten eficientemente los datos de usuario, a parte de proporcionar el control de la red en cada ARFCN. GSM proporciona asignaciones explícitas de los slots de tiempo de las tramas para los diferentes canales lógicos.

Por lo tanto podemos decir que un canal físico es una combinación de time slot y frecuencia de portadora (un canal de RF soporta 8 canales físicos en ranuras de tiempo: 0, 1, 2,...,7 –GSM-), y un canal lógico se refiere a un flujo de información entre entidades para un propósito particular.

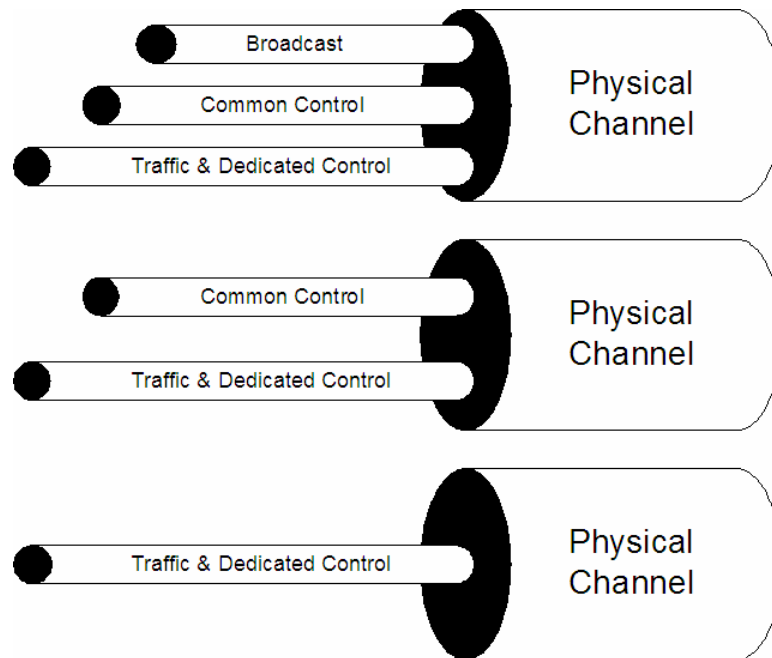


Figura 3.4 Mapeo de canales lógicos a físicos.

Los canales lógicos son portados dentro de los canales físicos. Cada canal físico en un sistema GSM puede ser mapeado en diferentes canales lógicos a tiempos diferentes. Eso es, cada time slot específico o frame puede ser dedicado ya sea a manejo de información de tráfico (información de usuario tal como la conversación), información de señalización, o información del canal de control (del MSC, BS, MS).

Los canales lógicos se pueden separar en dos categorías principalmente: los canales de tráfico (TCHs) y los canales de control (CCHs). Los TCHs llevan voz codificada digitalmente o datos y tienen funciones idénticas y formatos tanto para el "downlink" como para el "uplink". Los canales de control llevan comandos de señalización y control entre la estación base y la estación móvil. Se definen ciertos tipos de canales de control exclusivos para el uplink o para el downlink. Hay seis clases diferentes de TCHs y un número aún mayor de Canales de Control.

3.7.1 Canales de tráfico.

Los canales de tráfico en GSM pueden ser de velocidad completa ("full-rate") o de velocidad mitad ("half-rate"), y pueden llevar voz digitalizada o datos de usuario. Cuando transmitimos a velocidad completa, los datos están contenidos en un ST por trama. Cuando transmitimos a velocidad mitad, los datos de usuario se transportan en el mismo slot de tiempo, pero se envían en tramas alternativas. En GSM, los datos TCH no se pueden enviar en el TS 0 ("time slot 0") sobre ciertos ARFCNs ya que este TS está reservado para los canales de control en la mayoría

de las tramas. Además, cada trece tramas TCH se envía un canal de control asociado lento (SACCH) o tramas "idle". La Figura 18 ilustra los datos de un TCH se envían en tramas consecutivas. A cada grupo de 26 tramas consecutivas TDMA se le llama multitrama. De cada 26 tramas, la decimotercera y la vigesimosexta se corresponden con datos SACCH, o tramas "idle". La 26ª trama contiene bits idle para el caso cuando se usan TCHs a velocidad completa, y contiene datos SACCH cuando se usa TCHs a velocidad mitad.

Los TCHs se usan para llevar voz codificada o datos de usuario. Se definen en GSM dos formas generales de canales de tráfico:

- Canal de Tráfico a Velocidad completa (TCH/F). Este canal transporta información a una velocidad de 22.8 kbps.
- Canal de Tráfico a Velocidad Mitad (TCH/H). Este canal transporta información a una velocidad de 11.4 kbps.

Para transportar voz codificada se van a utilizar dos tipos de canales:

- Canal de tráfico a velocidad completa para voz (TCH/FS). Lleva voz digitalizada a 13 kbps. Después de la codificación del canal la velocidad es de 22.8 kbps.
- Canal de tráfico a velocidad mitad para voz (TCH/HS). Ha sido diseñado para llevar voz digitalizada que ha sido muestreada a la mitad que la de un canal a velocidad completa. En este aspecto GSM se ha anticipado a la disponibilidad de codificadores normalizados de voz a velocidades de unos 6.5 kbps. Después de la codificación del canal, la velocidad es de 11.4 kbps.

Para llevar datos de usuario se definen los siguientes tipos de canales de tráfico:

- Canal de Tráfico a velocidad completa para datos a 9.6 kbps (TCH/F9.6). Lleva datos de usuario enviados a 9600 bps. Con la codificación de corrección de errores aplicada según el estándar GSM, los datos se envían a 22.8 bps.
- Canal de Tráfico a velocidad completa para datos a 4.8 kbps (TCH/F4.8). Lleva datos de usuario enviados a 4800 bps. Con la codificación de corrección de errores aplicada según el estándar GSM, los datos se envían a 22.8 bps.
- Canal de Tráfico a velocidad completa para datos a 2.4 kbps (TCH/F2.4). Lleva datos de usuario enviados a 2400 bps. Con la codificación de corrección de errores aplicada según el estándar GSM, los datos se envían a 22.8 bps.
- Canal de Tráfico a velocidad mitad para datos a 4.8 kbps (TCH/H4.8). Lleva datos de usuario enviados a 4800 bps. Con la codificación de corrección de errores aplicada según el estándar GSM, los datos se envían a 11.4 bps.
- Canal de Tráfico a velocidad mitad para datos a 2.4 kbps (TCH/H2.4). Lleva datos de usuario enviados a 2400 bps. Con la codificación de corrección de errores aplicada según el estándar GSM, los datos se envían a 11.4 bps.

3.7.2 Canales de control.

Los canales de control soportan señalización y datos de sincronización entre estaciones base y móviles. Hay tres categorías de canales de control: difusión (broadcast) BCH, común CCCH y dedicado DCCH. Los CCHs de difusión son canales unidireccionales utilizados para difundir información a las estaciones móviles. Los CCHs comunes, CCCHs, son usados durante el establecimiento de

la conexión entre EB y EM antes de que se haya asignado al móvil un CCHs dedicado. Los CCHs dedicados son usados para señalización y supervisión de transmisión de datos.

3.7.2.1 Canales de difusión.

El BCH opera en el "downlink" de un ARFCN específico dentro de cada célula, y transmite datos sólo en el primer slot (TS 0) de algunas tramas GSM. Al contrario que los TCHs que son dúplex, los BCHs solo usan el "downlink". El BCH sirve como un canal guía para cualquier móvil cercano que lo identifique y se enganche a él. El BCH proporciona sincronización para todos los móviles dentro de la célula y se monitoriza ocasionalmente por los móviles de células vecinas para recibir datos de potencia y poder realizar las decisiones de handover. Aunque los datos BCH se transmiten en TS0, los otros siete slots de una trama GSM del mismo ARFCN están disponibles para datos TCH, DCCH ó están fijados por ráfagas vacías ("dummy").

Dentro de los canales BCH se definen tres tipos de canales separados que tienen acceso al TS0 durante varias tramas de la multitrama de control formada por 51 tramas:

(a) Canal de Control de "Broadcast" (BCCH)- El BCCH es un canal downlink que se usa para enviar información de identificación de célula y de red, así como características operativas de la célula (estructura actual de canales de control, disponibilidad de canales, y congestión). El BCCH también envía una lista de

canales que están en uso en una célula. Desde la trama 2 a la 5 de una multitrama de control están contenidos los datos BCCH.

(b) Canal Corrector de Frecuencia (FCCH) - El FCCH es una ráfaga de datos que ocupa el TS0 para la primera trama dentro de la multitrama de control, y que se repite cada diez tramas. El FCCH permite a cada estación móvil sincronizar su frecuencia interna de oscilación a la frecuencia exacta de la estación base.

(c) Canal de Sincronización (SCH) - El SCH se envía en el TS0 de la trama inmediatamente después del FCCH y se usa para identificar a la estación base servidora mientras que permite a cada móvil la sincronización de las tramas con la estación base. El número de trama (FN), que oscila entre 0 hasta 2,715,647, se envía con el código de identificación de la estación base (BSIC) durante la ráfaga SCH. El BSIC es asignado individualmente a cada BTS en un sistema GSM. Dado que un móvil puede estar hasta a 30 km de la BTS, es necesario frecuentemente ajustar la temporización de un usuario móvil particular de forma que la señal recibida en la estación base se sincroniza con el reloj de la estación base.

3.7.2.2 Canales de control comunes.

En aquellos ARFCN reservados para BCHs, los canales de control comunes ocupan el TS0 de cada trama que no esté ocupada por los BCHs o por tramas idle. Un CCCH puede estar formado por tres tipos diferentes de canales: el canal de búsqueda (PCH) "downlink", el canal de acceso aleatorio (RACH) "uplink", y el canal de acceso concedido (AGCH) "downlink".

(a) Canal de Búsqueda (PCH) - El PCH proporciona señales de búsqueda a todos los móviles de una célula, y avisa a los móviles si se ha producido alguna llamada procedente de la PTSN. El PCH transmite el IMSI (Identificación de Abonado Móvil Internacional) del abonado destino, junto con la petición de reconocimiento de la unidad móvil a través de un RACH. Alternativamente, el PCH se puede usar para proporcionar envíos de mensajes tipo ASCII en las células, como parte del servicio SMS de GSM.

(b) Canal de Acceso Aleatorio (RACH) - El RACH es un canal "uplink" usado por el móvil para confirmar una búsqueda procedente de un PCH, y también se usa para originar una llamada. El RACH usa un esquema de acceso slotted ALOHA. Todos los móviles deben de pedir acceso o responder ante una petición por parte de un PCH dentro del TS0 de una trama GSM. En el BTS, cada trama (incluso la trama idle) aceptará transmisiones RACH de los móviles durante TS0. Para establecer el servicio, la estación base debe responder a la transmisión RACH dándole un canal de tráfico y asignando un canal de control dedicado (SDCCH) para la señalización durante la llamada. Esta conexión se confirma por la estación base a través de un AGCH.

(c) Canal de Acceso Concedido (AGCH) - El AGCH se usa por la estación base para proporcionar un enlace de comunicaciones con el móvil, y lleva datos que ordenan al móvil operar en un canal físico en particular (en un determinado TS y en un ARFCN) con un canal de control dedicado. El ACCH es el último mensaje de control enviado por la estación base antes de que el abonado es eliminado del

control del canal de control. El ACCH se usa por la estación base para responder a un RACH enviado por una MS en la trama CCCH previa.

3.7.2.3 Canales de control dedicados.

Hay tres tipos de canales de control dedicados en GSM, y, como los canales de tráfico, son bidireccionales y tienen el mismo formato y función en el uplink y en el downlink. Como los TCHs, los DCCHs pueden existir en cualquier slot de cualquier ARFCN excepto en el TS0 de los ARFCN de los BCHs. Existen tres tipos diferentes de canales de control dedicados:

(a) Canales de Control Dedicados (SDCCH) - El SDCCH lleva datos de señalización siguiendo la conexión del móvil con la estación base, y justo antes de la conexión lo crea la estación base. El SDCCH se asegura que la MS y la estación base permanecen conectados mientras que la estación base y el MSC verifica la unidad de abonado y localiza los recursos para el móvil. El SDCCH se puede pensar como un canal intermedio y temporal que acepta una nueva llamada procedente de un BCH y mantiene el tráfico mientras que está esperando que la estación base asigne un TCH. El SDCCH se usa para enviar mensajes de autenticación y de alerta (pero no de voz). A los SDCCH se les puede asignar su propio canal físico o pueden ocupar el TS0 del BCH si la demanda de BCHs o CCCHs es baja.

(b) Canal de Control Asociado Lento (SACCH) - El SACCH está siempre asociado a un canal de tráfico o a un SDCCH y se asigna dentro del mismo canal físico. Por

tanto, cada ARFCN sistemáticamente lleva datos SACCH para todos sus usuarios actuales. El SACCH lleva información general entre la MS y el BTS. En el downlink, el SACCH se usa para enviar información lenta pero regular sobre los cambios de control al móvil, tales como instrucciones sobre la potencia a transmitir e instrucciones específicas de temporización para cada usuario del ARFCN. En el uplink, lleva información acerca de la potencia de la señal recibida y de la calidad del TCH, así como las medidas BCH de las células vecinas. El SACCH se transmite durante la decimotercera trama (y la vigesimosexta si se usa velocidad mitad) de cada multitrama de control, y dentro de esta trama, los 8 slots se usan para proporcionar datos SACCH a cada uno de los 8 usuarios (ó 16) del ARFCN.

(c) Canales de Control Asociados Rápidos (FACCH) - El FACCH lleva mensajes urgentes, y contienen esencialmente el mismo tipo de información que los SDCCH. Un FACCH se asigna cuando un SDCCH no se ha dedicado para un usuario particular y hay un mensaje urgente (como una respuesta de handover). El FACCH gana tiempo de acceso a un slot "robando" tramas del canal de tráfico al que está asignado. Esto se hace activando dos bits especiales, llamados bits de robo ("stealing bits"), de una ráfaga TCH. Si se activan los stealing bits, el slot sabe que contiene datos FACCH y no un canal de tráfico, para esa trama.

Operación de una radio base celular cuando coexisten GSM & TDMA.

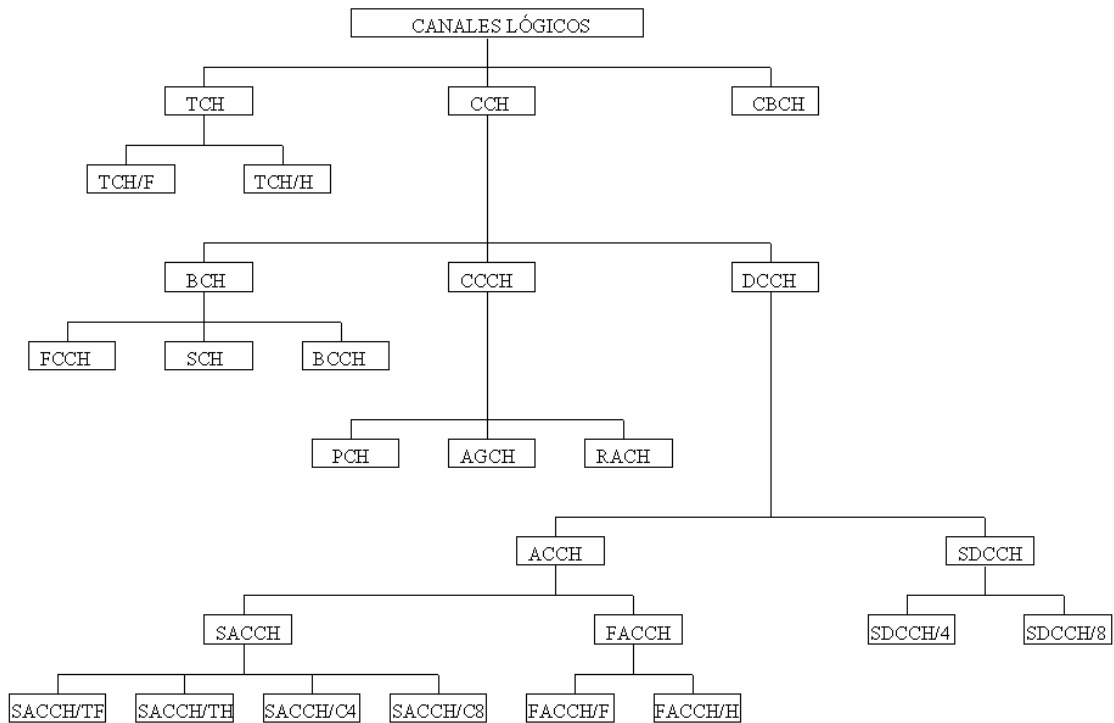


Figura 3.5 Canales lógicos de GSM, [5].

Canal	Nombre	Tipo de Direccionamiento
Full Rate Speech Channel	TCH/FS	Forward-Link/Reverse-Link
Full-Rate Data Channel for 9600bps	TCH/F9.6	Forward-Link/Reverse-Link
Full-Rate Data Channel for 4800bps	TCH/F4.8	Forward-Link/Reverse-Link
Full-Rate Data Channel for 2400bps	TCH/F2.4	Forward-Link/Reverse-Link
Half-Rate Speech Channel	TCH/HS	Forward-Link/Reverse-Link
Half-Rate Data Channel for 4800bps	TCH/H4.8	Forward-Link/Reverse-Link
Half-Rate Data Channel for 2400bps	TCH/H2.4	Forward-Link/Reverse-Link
Broadcast Channel	BCCH	Forward –Link
Frequency Correction Channel	FCCH	Forward –Link
Synchronization Channel	SCH	Forward –Link
Paging Channel	PCH	Forward –Link
Random Access Channel	RACH	Reverse-Link
Access Grant Channel	AGCH	Forward –Link
Stand Alone Dedicated Control Channels	SDCCH	Forward-Link/Reverse-Link
Slow Associated Control Channel	SACCH	Forward-Link/Reverse-Link
Fast Associated Control Channel	FACCH	Forward-Link/Reverse-Link

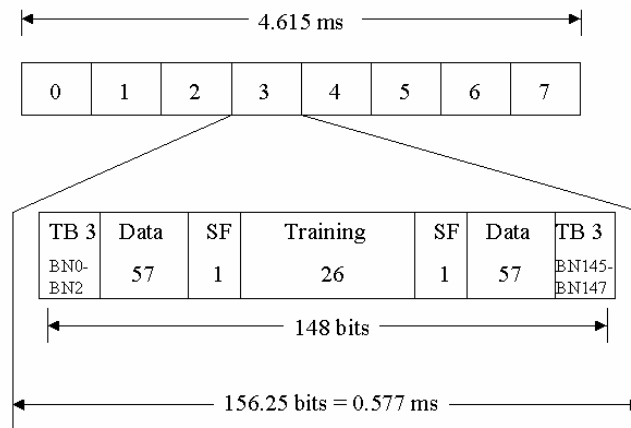
Tabla 3.2 Canales lógicos de tráfico y de control, [24].

3.8 Tipos de ráfagas (burst).

La velocidad de bit que modula una portadora GSM es de 270.838 kbit/sg, significando un intervalo de 577 μ sg que corresponde a una duración de 156.25 bits. Se denomina "burst" a esta ráfaga o secuencia de datos de extensión 156.25 bits. El burst está compuesto de una parte útil y una de guarda. La primera contiene los datos para ser transmitidos, una secuencia de entrenamiento y una cola de bits. En la segunda, el periodo de guarda, no se transmite nada y su propósito es permitir una variación en el tiempo de llegada del burst sin que se solapen las partes útiles de los burst adyacentes.

Se definen 5 tipos de burst en el sistema GSM. Cuatro de ellos son de duración completa (156.25 bits) y otro es más corto:

- Burst Normal: Se usan para transmisiones TCH y DCCH tanto para el uplink como para el downlink.

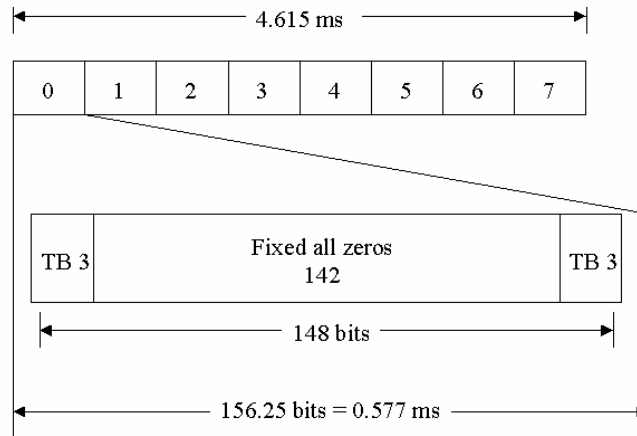


TB: Tail Bits

SF: Stealing Flag

Figura 3.6 Estructura de la ráfaga normal, [5].

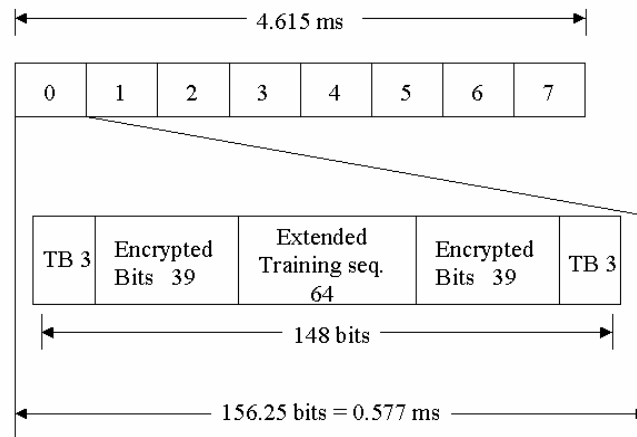
- Burst de Corrección de Frecuencia: Es utilizado para la sincronización de frecuencia en el móvil. También permite al móvil encontrar fácilmente el canal de difusión.



TB: Tail Bits

Figura 3.7 Estructura de la ráfaga de corrección de frecuencia, [5].

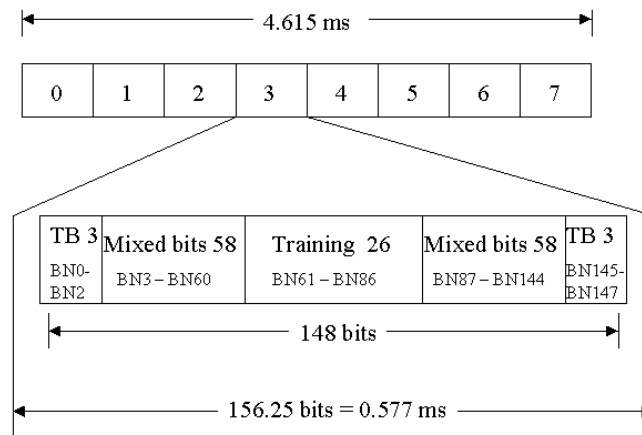
- Burst de Sincronización: Se utiliza para la sincronización temporal del móvil.



TB: Tail Bits

Figura 3.8 Estructura de la ráfaga de sincronización, [5].

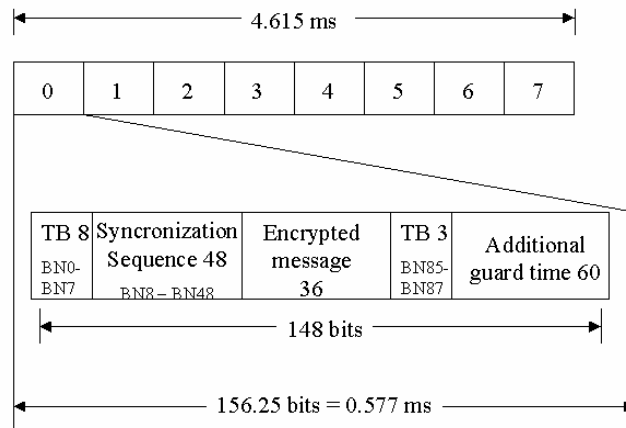
- Burst vacío (Dummy Burst): Tiene la misma estructura que el normal pero no transmite datos, los bits encriptados son sustituidos por unas series conocidas de bits. Es utilizado para rellenar la transmisión del trancceptor de control de la estación base cuando no hay canales de tráfico que transmitir.



TB: Tail Bits
SF: Stealing Flag

Figura 3.9 Estructura de la ráfaga vacía, [5].

- Burst de Acceso: Es el usado por el móvil para acceder al sistema. Se caracteriza por tener un período de guarda con una duración de 68,25 bits.



TB: Tail Bits

Figura 3.10 Estructura de la ráfaga de acceso, [5].

3.9 Estructura de las tramas de GSM.

La estructura de datos dentro de una ráfaga normal está formada por 148 bits que se transmiten a una velocidad de 270.833333 kbps (8.25 bits sin uso proporcionan un tiempo de guarda al final de cada ráfaga). Del total de 148 bits por TS, 114 son bits de información que se transmiten en dos secuencias de 57 bits al comienzo y al final de la ráfaga. En el centro de la ráfaga hay una secuencia de 26 bits de entrenamiento que permiten al ecualizador adaptable del móvil o de la estación base analizar las características del canal de radio antes de decodificar los datos. A cada lado de la secuencia de entrenamiento se encuentran los dos "stealing flags". Estos dos "flags" se usan para distinguir si el ST contiene datos de voz (TCH) o control (FACCH), ambos con el mismo canal físico. Durante una trama, el móvil usa un solo ST para transmitir, uno para recibir, y puede usar seis slots para medir la potencia de la señal de cinco estaciones base adyacentes así como la de su propia estación base.

Como se muestra en las figuras 3.6, 3.7, 3.8, 3.9 y 3.10 de estructuras de ráfagas, hay ocho slots por trama TDMA, y el periodo de trama es de 4.615 ms. Una trama contiene $8 \times 156.25 = 1250$ bits, aunque algunos periodos no se usan. La velocidad de las tramas es de $270.833 \text{ kbps} / 1250 \text{ bits/trama}$ es decir 216.66 tramas por segundo. Las tramas decimotercera y vigesimosexta no se usan para tráfico, sino para tareas de control. Cada una de las tramas normales se agrupan en estructuras más grandes llamadas multitramas que a su vez se agrupan en supertramas y éstas en hipertramas. Una multitrama contiene 26 tramas TDMA, y

una supertrama contiene 51 multitramas, ó 1326 tramas TDMA. Una hipertrama contiene 2048 supertramas, o 2,715,648 tramas TDMA. Una hipertrama completa se envía cada 3 horas, 28 minutos, y 54 segundos, y es importante en GSM dado que los algoritmos de encriptación relacionan este particular número de tramas, y sólo se puede obtener una suficiente seguridad si se usa un número suficientemente grande como el que proporciona la hipertrama.

Las multitramas de control ocupan 51 tramas (235.365 ms), a diferencia de las 26 tramas (120 ms) usadas por los canales de tráfico o dedicados. Esto se hace intencionadamente para asegurar que cualquier móvil recibirá con seguridad las transmisiones del SCH y el FCCH del BCH.

3.10 Enlace de voz.

Para transmitir la señal de voz por el canal digital del GSM se utiliza un codificador de voz que convierte la voz en una señal digital con la velocidad de 13 kbit/s. El codificador trabaja con bloques de duración de 20 ms, es decir con bloques de 260 bits.

3.10.1 Codificación de canal.

La movilidad del ME y las irregularidades del terreno producen variaciones y desvanecimientos en la señal recibida por el móvil. Estas variaciones producen errores en las transmisiones digitales. En el entorno rural, cuando estos desvanecimientos son muy grandes debido al descenso del nivel de señal, o en el entorno urbano cuando el nivel de interferencia co-canal supera el limite tolerado.

Para proteger la transmisión contra errores, el sistema GSM utiliza un FEC (Forward Error Correction) que consiste en la adición de bits redundantes de paridad a los datos transmitidos, de manera que el sistema sea capaz de detectar errores de transmisión y corregirlos. El sistema también utiliza codificación convolucional de coeficiente $\frac{1}{2}$ y profundidad $k=5$. La codificación de voz subdivide los bits del enlace en dos clases, aplicándosele a cada una de ellas una codificación de canal diferente. El resultado de ello es una señal digital de velocidad 22.8 kbit/s. Por tanto, el bloque primigenio del codificador de voz de duración 260 bits se transforma a la salida del codificador de canal en uno de 456 bits.

3.10.2 Interleaving.

Los desvanecimientos que como se ha mencionado, generan errores en los sistemas móviles, evolucionan a una velocidad mucho menor que 270 kbit/s (velocidad de transmisión del sistema GSM) y por tanto los errores tienden a suceder en ráfagas. Los errores en el canal se distribuyen en períodos con una alta tasa de error seguidos de intervalos muy largos con tasas de error bajas. Para que el código corrector de errores trabaje adecuadamente los errores deben estar distribuidos más o menos uniformemente en el tiempo. Para conseguirlo, el sistema GSM utiliza la reordenación y el interlineado de la información.

Los bloques de 456 bits codificados son reordenados e interlineados sobre 8 grupos multiplexados en el tiempo, bien sobre los 4 pares, bien sobre los 4 impares. Cada bloque de 456 bits codificados se dividen en 8 partes (57 bits) que

son entremezclados con los del bloque precedente o con los del posterior. A estos nuevos grupos de 114 (57+57) bits se les añade unos bits (1+1) que indican si los bits del enlace de voz de las partes pares o impares han sido sustituidos por datos de FACCH. Estos nuevos grupos de 116 (58+58) bits son los que forman los burst que se transmiten.

Si se pierde una ráfaga debido a las interferencias o desvanecimientos, la codificación del canal asegura que disponemos de suficientes bits para decodificar la secuencia correcta siempre y cuando tengamos una decodificación como el algoritmo de Viterbi.

3.10.3 Modulación digital.

El esquema de modulación usado en GSM es 0.3 GMSK, donde 0.3 describe el ancho de banda del filtro Gausiano con relación al bit rate de la señal ($BT=0.3$). GMSK es un tipo especial de modulación FM. Los unos y ceros binarios se representan en GSM por desplazamientos en frecuencia de ± 67.708 KHz. La velocidad de datos en GSM es de 270.833333 kbps, que es exactamente cuatro veces el desplazamiento en frecuencia. Esto minimiza el ancho de banda ocupado por el espectro de modulación y por tanto mejora la capacidad del canal. La señal MSK modulada se pasa a través de un filtro Gausiano para atenuar las variaciones rápidas de frecuencia que de otra forma esparcirían energía en los canales adyacentes.

3.11 Propiedades propias del sistema GSM.

La base de la mayoría de estas propiedades son las establecidas en todos los sistemas celulares.

3.11.1 Alineamiento flexible en el tiempo.

En el sistema GSM, como en la mayoría de los sistemas celulares, la MS obtiene su temporización de las señales recibidas de la BS. En concreto, la MS transmite su burst 3 intervalos de tiempo ($3 \times 577 \mu\text{s}$) después que los burst hayan sido recibidos de la BS. No obstante, dado que la temporización depende de lo que tarde en propagarse la señal, lo cual depende de la distancia entre la BS-MS, el siguiente burst recibido en la BS procedente de otra MS con diferente distancia puede superponerse. Para evitarlo se deben tomar algunas acciones.

La BS determina el adelanto en la temporización en transmisión que el móvil debe tener para que sus burst lleguen en el intervalo de tiempo correcto. Este adelanto de temporización lo calcula inicialmente la BS sobre la base del burst de acceso recibido en RACH (que tiene un periodo de guarda de 68,25 bits o $252 \mu\text{s}$) y puede ser de 0 a 63 periodos de bit de avance, lo que equivale a una separación máxima de 35 Km. La BS controla (en modo de operación normal con un TCH establecido) el retraso de la señal procedente de la MS enviando ordenes de corrección en el SACCH y logrando que el error del retardo sea menor que $2 \mu\text{s}$ (aproximadamente medio periodo de bit). Para células de radio mayor que 35

Km hay un procedimiento especial establecido que permite realizar esta función en células de hasta 120 Km.

3.11.2 Control de Potencia.

El control de potencia en el sistema GSM puede ser utilizado tanto en la MS como en la BS, y su finalidad principal es la de reducir la interferencia co-canal mientras se trabaja con una potencia transmisora adecuada para mantener la calidad de la señal de voz a través del enlace radioeléctrico. Este control de potencia es obligatorio para las MS mientras que no lo es para las BS. La MS debe ser capaz de variar su potencia de transmisión desde su máximo valor (diferente según la clase de MS de que se trate) hasta 20 mw en pasos de 2dB.

Para el acceso inicial de una MS en una célula, dicha MS debe usar su valor máximo definido por la clase de MS o el valor máximo permitido en esa célula. Después, la BS calcula el nivel de potencia en radiofrecuencia que debe usar la MS y se lo señala mediante 4 bits que están dedicados para tal efecto en el SACCH (BS-MS). El cambio de potencia en la MS se realiza a una velocidad de 2 dB cada 60 msg, y la MS confirma a la BS el nivel de potencia que utiliza en el SACCH (MS-BS).

3.11.3 Handover.

La MS tienen establecido el proceso de comunicación con la BS que le proporciona mejor enlace. Como la MS se mueve, la BS con la que existe el mejor enlace varía, por lo que la MS debe ser reasignada a una nueva BS y su llamada

re-enrutada adecuadamente. Esta necesidad es solucionada por el proceso de handover que determina la asignación de BS y que, por tanto, determina el tamaño de las células mediante los valores de umbrales y usando estos valores realiza la toma de decisión de asignación y determina la calidad del enlace radioeléctrico.

Para controlar el proceso de handover el sistema ha de poseer información de la calidad del enlace radioeléctrico existente y el de los enlaces alternativos de las BS circundantes. Una vez que tiene la información de calidad de su enlace con la BS utilizada y con las circundantes, transmite a la red la información de las 6 BS con mayor intensidad de señal recibida (a través de su BS), tomándose entonces la decisión de handover.

Tan solo añadir que respecto de la BS con la que está enlazada, la MS mide no solo la intensidad de señal recibida, sino también la calidad de la misma en tasa de error de canal. Igualmente, la BS realiza medidas de calidad del enlace MS - BS. El medir los dos parámetros permite al sistema conocer si la degradación de un enlace radioeléctrico se debe a falta de señal o a interferencia co-canal.

Junto con el handover como cambio de la BS con la que trabaja una MS, también existe el concepto de handover intracelular (al anterior le llamamos handover intercelular) y que consiste en cambiar el canal en el que se realiza la comunicación dentro de una misma BS. Esto se puede llevar a cabo ya que la BS mide la señal recibida en todos los canales posibles por ellas, y no solo en el

utilizado, por lo que puede determinar que canal tiene una menor interferencia co-canal. El algoritmo de handover no está restringido a especificaciones GSM sino que se da libertad al gestor de red de como realizarlo. No obstante, existe un ejemplo de algoritmo recomendado por las especificaciones.

3.11.4 Técnicas de enlace.

Como la mayoría de las comunicaciones en sistemas móviles son de voz y estas son realmente activas menos de la mitad del tiempo, el sistema GSM utiliza la transmisión discontinua (DTX) apoyándose en detectores de actividad vocal (VAD), transmitiendo aquellos tramos de voz en los que se considera que hay actividad de voz. Esto conlleva dos ventajas: la señal co-canal interferente se reduce a 3 dB de media y la duración de la batería de la MS se amplía considerablemente.

Los intervalos en los que no se transmite voz se rellenan mediante ruido confortable. El algoritmo para extraerlo es enviado periódicamente en los periodos de silencio, en tramas de identificación de silencio (SID) al extremo receptor de la comunicación. La opción DTX es obligatoria para las MS y optativa para las BS. Por otro lado, la recepción discontinua implica que las MS están diseñadas para tener activados los receptores sólo cuando es necesario. Esto se puede llevar a cabo debido a que el canal de búsqueda (PCH) está organizado de forma que la MS solo necesita escuchar un pequeño subconjunto de todas las tramas PCH.

La propagación en sistemas móviles en el que se da multitrayecto produce un desvanecimiento en la señal recibida muy característico. Este efecto negativo se corrige en parte, mediante el salto lento en frecuencia. La secuencia de burst que forman el TCH son asignadas cíclicamente a diferentes frecuencias definidas para una BS. Las señales de temporización disponibles en la BS y en la MS se usan para mantener transmisores y receptores en sincronismos dentro de una secuencia de salto en frecuencia definida.

Una ventaja adicional del SFH es que la interferencia co-canal esta más dispersa entre todas las MS, ya que todas las MS pasarán por la frecuencia en la que existe la interferencia co-canal, siendo todas ligeramente afectadas pero ninguna de forma continua, como ocurriría en el caso de no existir el SFH. En el sistema GSM la duración de cada salto coincide con el de la trama TDM (4,616 ms). Por tanto la frecuencia de salto es de 217 saltos /sg.

3.12 Características de las fases de GSM.

Fase 1

- Expedición de llamada (call forwarding).
- Todas las llamadas (all calls).
- No responder (no answer).
- Dedicado (engaged).
- Inalcanzable (unreachable).
- Llamada salvo (call barring).
- Saliente – excluir ciertas llamadas salientes (outgoing).

- Entrante – excluir ciertas llamadas entrantes (incoming).
- Roaming global.

Fase 2

- SMS – permite mandar mensajes de teléfono a teléfono.
- Multi party calling – permite hablar con cinco personas más al mismo tiempo.
- Call holding – permite retener una llamada.
- Call waiting – notifica otra llamada entrante durante una llamada.
- Mobile data services – permite a los móviles comunicarse con computadoras.
- Mobile fax service – permite a los móviles mandar, recuperar y recibir faxes.
- Servicio de identificador de llamadas.
- Aviso de cargos.
- Broadcast de célula – permite suscribirse a nuevos números locales-
- Mobile terminating Fax – otro número que tiene asignado recibe faxes que después pueden ser impresos en una maquina de fax.

Fase 2 +

- Mejoras y actualizaciones a los servicios existentes.
- La mayor parte de la actualización concierne a la transmisión de datos, incluyendo servicios portadores y paquetes de datos switcheados a 64 kbps y más.
- DECT acceso a GSM.

- PMR/PAMR (Public Access Mobile Radio) – capacidades semejantes.
- GSM en el lazo local (local loop).
- Redes privadas virtuales.
- Packet radio.
- Incremento SIM.
- Servicios de velocidad de gran valor.

3.13 GERAN.

El proceso de normalización hacia GERAN (GSM/EDGE Radio Access Network - Red de Acceso Radioeléctrico GSM/EDGE) está siendo llevado por 3GPP (Third Generation Partnership Project – Proyecto de Asociación para la Tercera Generación). GERAN ofrecerá los mismos servicios que WCDMA, mediante la conexión a la misma red central. Esto se realiza en paralelo con medios para aumentar la eficiencia espectral. El objetivo es impulsar la capacidad del sistema, tanto para los servicios en tiempo real como los de mejor esfuerzo y competir eficazmente con otras redes de acceso de radio de tercera generación tales como WCDMA y cdma2000.

3.13.1 Evolución de GSM/EDGE.

El próximo paso en la evolución del sistema celular GSM/EDGE, incluye una definición de mejoras que llevarán a una mayor alineación con UMTS/UTRAN (Red terrestre de acceso radioeléctrico UMTS), favoreciendo la evolución de GSM hacia los sistemas inalámbricos de tercera generación. Actualmente, esas mejoras están siendo especificadas para GERAN, en las próximas versiones de la norma

3GPP. GERAN está basada en las técnicas de transmisión de alta velocidad EDGE, combinada con mejoras sobre la interfaz del enlace de radio GPRS. GERAN proveerá soporte para las clases de servicio conversacionales y de flujo continuo (streaming), tal como han sido definidas para WCDMA. De esta manera, se podrá dar soporte adecuado a todo un nuevo rango de aplicaciones, incluyendo las aplicaciones de IP multimedia.

El próximo paso en la evolución de GSM/EDGE se concentra sobre el soporte de las clases de servicio conversacionales y de flujo continuo, los así llamados servicios en tiempo real. Un impulsor para esta evolución es el cambio de paradigma dentro del mundo de las telecomunicaciones, desde las comunicaciones de conmutación de circuitos (circuit-switched) hacia la conmutación de paquetes (packet-switched). Esta tendencia no sólo es válida para los servicios de datos tradicionales, tal como e-mail y navegación web, sino también para los servicios en tiempo real, tales como videoconferencia y voz sobre IP.

Tanto la red central de segunda generación de conmutación de paquetes, definida para GPRS, como la actual red de acceso radioeléctrico de GSM/EDGE, requieren modificaciones para soportar los servicios en tiempo real. Una parte de la solución es adoptar la misma interfaz lu para la red central WCDMA/GPRS de tercera generación, tal como UTRAN. Esto simplifica la alineación de los servicios que serán prestados en WCDMA y también permite la conexión a la misma red central de tercera generación.

En la normalización 3GPP la evolución actual de GSM/EDGE que cubre todos los aspectos mencionados se llama GERAN. En resumen, los dos objetivos principales para GERAN son:

- Alineación con los servicios WCDMA primariamente relacionados con la provisión de clases de servicio conversacional y de flujo continuo.
- Posibilidad de interconectar la red central WCDMA sobre la misma interfaz Iu, tal como WCDMA/UTRAN.

Además, GERAN incluirá mejoras de rendimiento para los servicios existentes.

3.13.2 Arquitectura del sistema GERAN.

El soporte para los servicios de paquetes en tiempo real y la adopción de la arquitectura de Calidad de Servicio (QoS) de WCDMA, requieren cambios en la red central GPRS de segunda generación. En lugar de introducir estos cambios, otra solución atractiva es conectar GERAN a la red central WCDMA/GPRS de tercera generación, la cual soporta los servicios en tiempo real y la arquitectura de QoS de WCDMA. Esto permite una red central común para UTRAN y GERAN, conectados sobre una interfaz común.

Para conectarse a la red central WCDMA/GPRS de tercera generación, GERAN utilizará la interfaz Iu. La interfaz Iu está compuesta de dos partes: la Iu-PS, que se conecta con el dominio de conmutación de paquetes de la red central y la Iu-CS, que se conecta con el dominio de conmutación de circuitos de la red central. La figura muestra que GERAN también se conecta con los nodos de la red central de segunda generación.

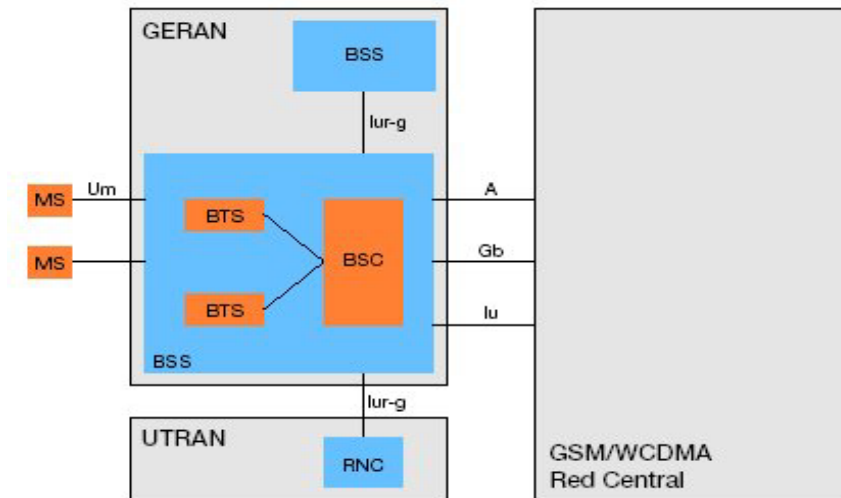


Figura 3.11 Arquitectura de GERAN, [23].

Las interfaces A y Gb permanecen intactas haciendo que GERAN sea totalmente compatible para soportar terminales de las versiones anteriores de GSM, GPRS, ECSD y EGPRS. Ejemplos de las mejoras son el soporte para la reelección de la célula para el dominio de conmutación de paquetes, la separación de los planos de usuario y de control, y los modos transparentes en las capas de protocolo del enlace de radio. También será posible multiplexar tráfico de paquetes de datos hacia y desde las terminales operando ya sea en los modos Iu o Gb, sobre el mismo intervalo de tiempo.

La Versión 99 de la norma ETSI ha mostrado un soporte eficiente para los servicios sin requerimientos estrictos de retardo, tales como acceso a Internet, e-mail, e-commerce y descarga de archivos. Con las normas de la Versión 5 de 3GPP, GERAN proveerá un rango completo de servicios inalámbricos de tercera generación. También está incluido el soporte para todas las clases de servicio

especificadas para WCDMA, con los requerimientos de tiempo real de la clase de servicio conversacional. Además, se consigue un alto nivel de alineación con WCDMA, por la interconexión hacia la red central WCDMA, sobre la interfaz Iu, que es común con UTRAN.

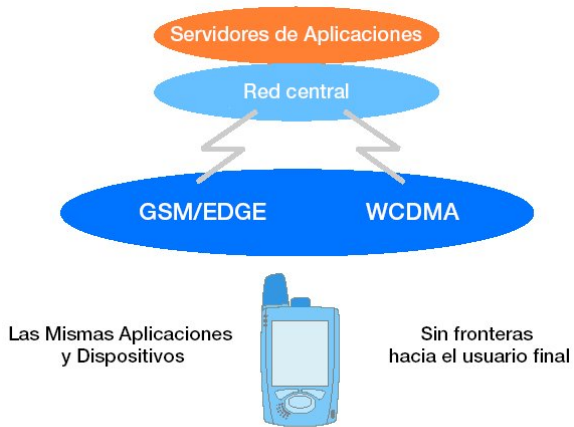


Figura 3.12 Una red sin fronteras entre GSM y WCDMA, [23].