

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA



**ANÁLISIS DE UNA RED DE TELEFONÍA MÓVIL UTILIZANDO
TECNOLOGÍA GSM**

INFORME DE SUFICIENCIA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO ELECTRÓNICO

PRESENTADO POR:

EDGAR TITO COILA

**PROMOCIÓN
1998-II
LIMA-PERÚ
2002**

Dedico este trabajo a:
Mis padres, inspiración plena de lucha y
sacrificio,
Mis Hermanos, por el apoyo incondicional en
mi carrera,
Y mis sobrinos esperanza de superación.

**ANÁLISIS DE UNA RED DE TELEFONÍA MÓVIL UTILIZANDO
TECNOLOGÍA GSM**

SUMARIO

El presente trabajo pretende describir la tecnología GSM, la cual se ha impuesto, claramente, como la tecnología dominante para la telefonía celular de segunda generación, su propia dinámica evolutiva le augura el mantenimiento de esta posición privilegiada y asegura su adaptación a la telefonía de tercera generación.

En el capítulo I se ofrece una visión general de la red GSM, en ella se encuentra una reseña histórica de la evolución de esta tecnología, adicionalmente una descripción de los servicios que nos permite otorgar a los usuarios de la telefonía móvil.

El capítulo II se refiere al análisis en bloques del sistema, es decir una descripción general de los sub-sistemas de la arquitectura GSM, también se muestra el encaminamiento de las llamadas y la interconexión con la Red Fija.

El capítulo III se trata de un tema importantísimo que es el de la señalización de la red y la señalización en la interfaz de radio.

El capítulo IV describe la capa física de GSM junto con la interfaz radio vinculada a la misma.

Los capítulos V y VI a la descripción de la red, con los subsistemas de estaciones base y conmutación y sus elementos asociados.

ÍNDICE

PRÓLOGO

CAPÍTULO I

DESCRIPCIÓN GENERAL DEL SISTEMA

1.1 Introducción	3
1.2 Norma GSM: Hitos históricos de desarrollo y organización	5
1.3 Concepto de red PLMN-GSM	8
1.4 Servicios proporcionados por la red GSM	11
1.5 Interfuncionamiento con otras redes	13
1.6 Jerarquía y numeración en la red GSM	13
1.6.1 Estructura jerárquica	13
1.6.2 Identidades y números de abonado y red	16

CAPÍTULO II

ANÁLISIS Y EVALUACIÓN SISTEMÁTICA DE LA ARQUITECTURA GSM

2.1 Arquitectura de la red GSM	18
2.1.1 Introducción: Subsistemas	18
2.1.2 Arquitectura funcional de la red GSM	22
2.1.3 Estación móvil	23

2.1.4 Sistema de estaciones base	25
2.1.5 Centro de conmutación de móviles	26
2.1.6 Registro general de abonados	27
2.1.7 Registro de abonados itinerantes	29
2.1.8 Unidades funcionales de seguridad	30
2.1.9 Centro de operación y mantenimiento	32
2.2 Autenticación	33
2.3 Encaminamiento de las Llamadas	36
2.4 Transmisión por la red fija	39
2.4.1 Configuraciones de red	40
2.4.2 Calidad de transmisión	46
CAPÍTULO III	
ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE INTERFACES Y PROTOCOLOS	
3.1 Señalización en la red GSM	47
3.1.1 Introducción	47
3.1.2 Señalización de red	49
3.1.3 Protocolos de señalización en la interfaz radio	54
CAPÍTULO IV	
ANÁLISIS DE CARACTERÍSTICAS DE LA INTERFACE DEL AIRE	
4.1 Bandas de frecuencias: canalización y coordinación	62
4.2 Multiacceso TDMA	66
4.2.1 Intervalos y tramas temporales	66
4.2.2 Sincronización	68
4.3 Sistema de modulación	72

4.3.1 Modulación GMSK	72
4.3.2 Proceso de demodulación	73
4.3.3 Tasa de errores	74
4.4 Interfaz Radio en GSM	75
4.4.1 Introducción	75
4.4.2 Tipos y formatos de ráfagas	76
4.4.3 Correspondencia canales Lógicos - canales físicos	81
4.4.4 Combinaciones de canales	92
4.4.5 Estructura de las multitramas	95
4.4.6 Supertramas e hipertrama	101
4.4.7 Sincronización temporal	103

CAPÍTULO V

ANÁLISIS DEL SUBSISTEMA BSS

5.1 El subsistema BSS	104
5.1.1 Introducción	104
5.1.2 Funciones del BSC	106
5.1.3 TRAU	108
5.2 Interfaz A-bis	109
5.2.1 Introducción	109
5.2.2 Canales	111
5.2.3 Topología de conexión	112
5.3 Interfaz BSC-TRAU	120
5.3.1 Introducción	120
5.3.2 Canales	120

5.4 Interfaz A	123
5.4.1 División funcional entre BSS y SSS	123
5.4.2 Unidad de conmutación móvil remota	130
5.5 Transmisión de servicios diferentes a la voz	131
5.5.1 Servicios suplementarios	131
5.5.2 Servicios de datos	131
CAPÍTULO VI	
ANÁLISIS DEL SUBSISTEMA SSS	
6.1 El subsistema de conmutación	133
6.1.1 Funciones de red	134
6.1.2 Componentes del subsistema de conmutación	136
6.1.3 Ejemplo de red de conmutación	151
6.2 Interfaces dentro del servicio móvil GSM	152
CONCLUSIONES	156
BIBLIOGRAFÍA	159

PRÓLOGO

Desde su origen, el hombre es un ser sociable, que se relaciona con sus semejantes mediante mensajes, que le han permitido establecer y organizar sus entornos natural y social, así como su cultura. Los hombres aprendieron a valerse de los gestos y la palabra para comunicarse entre si.

Con la escritura, se posibilita la comunicación a distancia y por esta vía nos han llegado las informaciones cultural e histórica. A lo largo de la historia de la humanidad se han ido perfeccionando los sistemas de comunicación, lo que ha permitido la integración de las personas en comunidades, de estas en naciones y de ellas, en último término, en la sociedad universal.

Estamos asistiendo a una aceleración marcada del proceso de cambio tecnológico, participación intensa en el ámbito de las tecnologías de la información y las comunicaciones.

El desarrollo que caracteriza al sector de las telecomunicaciones es fiel reflejo del gran adelanto que produce el progreso técnico. Este fuerte crecimiento se da en un sector complejo en el que se combinan aspectos diversos que ponen en relieve su

carácter estratégico. Por una parte, los servicios de telecomunicaciones constituyen un punto crucial para el desarrollo de la actividad económica de un país en condiciones de competencia, por otra parte, las telecomunicaciones son una herramienta básica para conseguir el desarrollo social y territorial de un país, hoy en día, la equidad social pasa por asegurar la igualdad de oportunidades para todos los ciudadanos y no cabe duda de que las telecomunicaciones juegan en este sentido un papel clave.

Los sistemas de telefonía móvil GSM, son completas redes telefónicas, lo que las diferencia de otros sistemas móviles que son sistemas de acceso a la red telefónica convencional. Por ello la norma GSM es muy compleja, con una elevada componente de protocolos y de señalización y gestión.

El sistema GSM se ha impuesto claramente, como la tecnología dominante para la telefonía móvil de segunda generación a nivel mundial. Su propia dinámica evolutiva le augura el mantenimiento de esta posición privilegiada y asegura su adaptación a las nuevas necesidades móviles de la sociedad de la información, El presente trabajo pretende dar una visión de GSM como arquitectura de Red, separando los aspectos de señalización y tratamiento de las comunicaciones.

CAPÍTULO I

DESCRIPCIÓN GENERAL DEL SISTEMA

1.1. INTRODUCCIÓN

La telefonía móvil suscitó un gran interés, con una elevada demanda que fue preciso contener mediante una política de precios disuasorios ya que la tecnología analógica de las redes de telefonía móvil terrestre (PLMN) de primera generación junto con problemas de disponibilidad de frecuencias, limitaban drásticamente la capacidad, de forma que las posibilidades de crecimiento eran muy reducidas. Además, los distintos países utilizaban normas diferentes e incompatibles entre sí, lo que hacía imposible que un usuario pudiera utilizar su teléfono móvil fuera de su país. Estas normas especificaban fundamentalmente la interfaz radio de forma que era posible la interoperabilidad en el acceso radio de teléfonos móviles de diferentes fabricantes. Sin embargo, las funciones de conmutación y señalización y las interfaces en la mayoría de los casos, eran de carácter propietario lo cual dificultaba la interoperabilidad de redes. Al ser las redes de tipo analógico, las aplicaciones de transmisión de datos requerían el uso de módems externos a los equipos radio, por lo que apenas eran utilizadas.

Para tratar de solventar estos problemas y sobre todo el de la capacidad, se creó en 1982 en el seno de la CEPT (Conférence Européenne des Postes et Telecommunications) un grupo de trabajo denominado GSM (Groupe Spéciale Mobile), con el mandato de preparar un estándar de red PLMN para todos los países de la CEPT. Una de las primeras y fundamentales decisiones adoptadas fue la de reservar una banda de frecuencias común para esta red, lo cual facilitaría enormemente la itinerancia internacional. La banda elegida consta de dos sub-bandas de 25 MHz de anchura cada una: 890 - 915 MHz y 935 - 960 MHz cuya frecuencias homólogas están separadas 45 MHz entre sí. Como ya había servicios de radio comunicaciones en estas bandas ha sido necesario irlos desalojando paulatinamente de las mismas, a fin de liberar las frecuencias para la PLMN-GSM.

Se decidió también que la norma a elaborar tendría un carácter evolutivo, procediendo su desarrollo e implantación en diversas fases con prestaciones cada vez mejores. Entre los objetivos previstos para la red GSM pueden destacarse los siguientes. La red debería:

- 1) Tener un carácter paneuropeo, permitiendo la itinerancia internacional de los abonados, es decir, la posibilidad de realizar y recibir llamadas desde cualquier país europeo con un número único.
- 2) Permitir la interoperabilidad de equipos tanto dentro de la red como en el acceso radio.
- 3) Poder interfuncionar con las redes fijas preexistentes: PSTN, ISDN y redes públicas de datos, PDN (Public Data Networks), mediante accesos normalizados a las mismas.

- 4) Proporcionar a los usuarios una amplia gama de servicios y facilidades, tanto de voz como de datos, compatibles con las ofrecidas por las redes fijas.
- 5) Prestar servicio a un amplio conjunto de estaciones móviles, incluidas las instaladas en vehículos, las transportables y las portátiles.
- 6) Brindar elevadas prestaciones en cuanto a:
 - Cobertura
 - Capacidad
 - Calidad de servicio
- 7) Hacer un uso eficiente del espectro radioeléctrico.
- 8) Ser económicamente atractiva en cuanto a las inversiones en infraestructura, costes de equipos móviles y gastos de explotación.

El nombre del grupo acabo designando a la norma, la cual hoy día se conoce como red PLMN-GSM, o abreviadamente, GSM. En el año 1989 la responsabilidad de normalización recae en el ETSI (European Telecommunications Standards Institute), reestructurándose los grupos de trabajo que adquiere otra denominación. Entonces se reinterpreta el significado del acrónimo GSM pasando a designar el término Global System for Mobile communications.

1.2. NORMA GSM: HITOS HISTÓRICOS DE DESARROLLO Y ORGANIZACIÓN

A continuación se indican fechas relevantes en la génesis y desarrollo de la norma GSM:

1982: Constitución del "Groupe Speciale Mobile" en el seno de la CEPT. La CEPT adopta las Recomendaciones de la Conferencia Mundial de Radiocomunicaciones Y reserva una banda de frecuencias común para el futuro "Sistema Paneuropeo de telefonía Móvil".

1985: La Comisión Europea acuerda la adopción de la norma que elabore el Grupo GSM en todos los países comunitarios.

1986: Creación del "Nucleo Permanente" GSM y evaluación de las primeras propuestas de tecnologías de acceso. La Comisión Europea elabora una directiva y una recomendación reservando bloques de frecuencias en la banda de 900 MHz para GSM.

1987: Selección de la tecnología digital para la transmisión y del método de multiacceso TDMA.

Firma del acuerdo de cooperación, MoU (Memorandum of Understanding) por 13 países que se comprometen a utilizar en sus nuevas redes la norma GSM con un preacuerdo para iniciar la explotación en 1991.

1988: Desarrollo de las primeras pruebas de validación y comienzo de la producción industrial de equipos. Decisión de que la elaboración de la norma fuera por fases.

1989: El Grupo GSM se convierte en una Comisión del ETSI.

1990: Conclusión de las especificaciones de la Fase I de GSM. Sistema preoperacional.

1991-1992: Primeras pruebas públicas e inicio de la explotación en diversos países. Primer operador europeo miembro del MoU (Australia). Problemas de homologación de terminales.

1994-1996: Desarrollo de numerosas redes coincidiendo con la liberalización de las Telecomunicaciones.

1996: Desarrollo de la fase GSM-2 con nuevos servicios y facilidades. Ampliación a GSM-1800.

1997: Conclusión especificaciones fase 2+.

Los documentos donde se recoge la norma de la red GSM se dividen en informes, ETR (ETSI Technical Reports) y especificaciones técnicas, ETS (ETSI Technical Standards) llamadas previamente GSM - TS (Technical Specifications). Estos textos son elaborados por la Comisión técnica del Grupo Especial Móvil del ETSI, SMC – TC (Special Mobile Group – Technical Committee). Los ETR son documentos informativos, producto de los estudios realizados por el SMG, tienen por objeto facilitar el uso y aplicación de las ETS y están relacionados con ellas.

Las ETS son textos normativos que proporcionan las especificaciones técnicas para la realización del sistema europeo de telecomunicación celular digital llamado, abreviadamente, GSM.

Las ETS se han clasificado en conjuntos denominados "Series". Cada serie abarca un grupo de especificaciones que tratan de un tema común. El número de series es de 12, aunque la 10 carece de documentos (estaba destinada a las especificaciones de interfuncionamiento de los servicios). En la Tabla 1 se recogen los títulos de las diferentes series. La tabla proporciona una primera indicación de los aspectos de mayor relieve de la norma.

Series de Especificaciones GSM

Serie	Título
01	Generalidades
02	Aspectos relativos a los servicios
03	Aspectos relativos a la red
04	Interfaz MS - BS y protocolos
05	Capa física en el trayecto radioeléctrico
06	Codificación de la voz
07	Adaptadores de terminal para las estaciones móviles
08	Interfaces BS - MSC
09	Interfuncionamiento de la red
11	Especificaciones y homologación de los equipos
12	Operación y mantenimiento

Tabla 1

Del éxito de la idea de una norma común para la telefonía móvil da cuenta la enorme expansión de GSM, que ha desbordado ampliamente las fronteras europeas para donde fue inicialmente concebido.

1.3. CONCEPTO DE RED PLMN - GSM

El estándar GSM define una red telefónica móvil terrestre (PLMN) completa, de naturaleza digital y de servicios integrados, que comprende el acceso radio con estructura celular. La transmisión conmutación y señalización específicas para soportar las funciones de movilidad y los mecanismos de seguridad para el establecimiento de las llamadas y la protección de la información transmitida durante estas.

La red PLMN - GSM proporciona a usuarios fijos y móviles la intercomunicación con abonados o con recursos de otras redes fijas o móviles, incluidos los servicios asociados a ellas.

La red PLMN - GSM, sin embargo, tiene un grado de conectividad limitado. Estrictamente hablando, como red, sólo puede manejar internamente llamadas entre estaciones móviles que dependan de una misma central. Para todas las demás llamadas entre móviles que requieran la intervención de diferentes centrales y las llamadas en que intervenga un terminal de red de telefónica convencional se requiere el concurso de la PSTN. Por ello, en la PLMN - GSM no hay jerarquía de conmutación y la transmisión utiliza la norma PCM con canales de 64 kbit/s.

Una de las mas importantes características de GSM es la especificación de interfaces abiertas entre las distintas unidades funcionales de la red, en el marco del modelo OSI y siguiendo la normativa de ISDN para la caracterización de la señalización y las funciones de red. En consecuencia, la PLMN - GSM nace ya como una red digital de extremo a extremo. Cuando se redacta la norma GSM ya existe cierta experiencia en una red moderna como es la ISDN, de la que se ha beneficiado el diseño de la red, creándose una infraestructura de gran capacidad. Esto se ha puesto de manifiesto especialmente en la relativa facilidad con la que los usuarios pueden realizar la itinerancia manteniendo la sensación de estar conectados a su red doméstica, con independencia del lugar donde se encuentren. Tan importante es este aspecto de la capacidad y prestaciones de la red GSM, que para el futuro sistema de telefonía móvil de tercera generación UMTS (Universal Mobile Telecommunication System) se ha propuesto el mantenimiento sustancial del concepto de red GSM actual junto con una nueva tecnología de acceso radio.

Las funciones básicas que debe ejecutar la red PLMN-GSM, pueden resumirse como sigue:

- ***Prestación de servicios básicos***

- Establecimiento y supervisión de las llamadas con las PSTN/ISDN y otras PLMN
- Autenticación de usuarios y equipos
- Encriptación de las llamadas
- Llamadas de emergencia
- Servicios suplementarios

- ***Funciones de movilidad***

- Localización y registro de abonados
- Itinerancia
- Radio búsqueda
- Traspasos
- Incorporación/Abandono

- ***Funciones de gestión de red***

- Operación y mantenimiento
- Gestión de abonados

- ***Gestión de los recursos de radio***

- Asignación de frecuencias
- Mediciones de señal
- Saltos de frecuencia.

1.4. SERVICIOS PROPORCIONADOS POR LA RED GSM

GSM es una red de telecomunicación capaz de proporcionar múltiples servicios que forman un subconjunto del conjunto de servicios ofrecidos por la ISDN general. Los servicios básicos ofrecidos son los de telefonía y datos, que comprenden transmisiones de textos, imágenes, fax, ficheros y mensajes. Existe también una amplia gama de servicios suplementarios.

El servicio básico de telefonía es similar al que prestan las redes clásicas fijas. El usuario puede realizar y recibir llamadas hacia/desde cualquier red telefónica. Este servicio tiene asociado el de mensajería vocal que permite el almacenamiento de los mensajes para su posterior recuperación.

Los servicios de datos utilizan la red GSM principalmente como red de acceso. Es posible entablar comunicación con diferentes redes destino a velocidades de datos comprendidas entre 300 y 9600 bit/s en modo síncrono o asíncrono. Los servicios de datos en modo circuito pueden ser de tipo transparente o no transparente (con detección de errores y retransmisión). En el modo transparente la red usa el protocolo RLP (Radio Link Protocol), con un sistema de control de errores que realiza la detección de errores y la retransmisión consiguiente.

El tipo de conexión y las características de los servicios de datos, dependen de la red destinataria. Para la PSTN, que es de naturaleza analógica, se requiere el uso de un módem en el punto de interconexión GSM-PSTN. En el caso de la ISDN hace falta disponer de un adaptador de velocidad de 9,6 kbit/s en GSM a 64 kbit/s en ISDN.

Para las redes públicas de datos con conmutación de paquetes. PSPDN, la conexión depende de la norma usada en esa red: es directa en caso X25 y requiere la

intervención de la PSTN o ISDN con la norma PAD-X.28 asíncrona, o con la norma X.32 sincrónica.

El servicio de mensajes cortos. SMS (Short Message Service) permite el intercambio de mensajes breves, de hasta 160 caracteres, que pueden leerse en la pantalla del equipo portátil o en la de un PC dotado de programas para la gestión del servicio.

Los mensajes del servicio SMS llegan a sus destinatarios aunque éstos no estén disponibles (terminal apagado) o su Línea esté ocupada. Una vez que el terminal se encuentra en el estado activo desocupado, la red genera una llamada indicando al usuario que tiene uno o más mensajes depositados en su buzón.

Este servicio es similar al de radió búsqueda (paging) pero más completo ya que permite el intercambio bidireccional, el almacenamiento y envío y el acuse de recibo de los mensajes entregados.

Otro servicio interesante es el de difusión celular, SMS-CB (Cell Broadcasting), mediante el cual pueden difundirse mensajes a grupos de usuarios situados en determinadas células.

Los servicios suplementarios enriquecen las prestaciones de los teleservicios básicos. Brindan al usuario la posibilidad de elección del tratamiento de las llamadas entrantes o salientes: prohibiciones, desvíos, le facilitan informaciones sobre la llamada: aviso de tasación, identificación de línea llamante, indicación de llamada en espera o le permiten ejercer ciertas funciones como retención, multiconferencia, etc.

1.5. INTERFUNCIONAMIENTO CON OTRAS REDES

La norma GSM ha previsto el interfuncionamiento de la PLMN–GSM con las siguientes redes: PSTN, ISDN, Red publica de datos con conmutación de paquetes, Red publica de datos con conmutación de circuitos y otras PLMN–GSM.

En la tabla 2 se resumen las características básicas de las redes necesarias para establecer el interfuncionamiento.

Características de las Redes

Características	GSM	ISDN	PSTN
Interfaz de abonado	Digital	Digital	Analógico
Equipo terminal de usuario sustentado	Funciones MT0, MT1, MT2. GSM. 04.02	TE Digital, NT, TE1, TE+TA	TE Analógico, DTE, PABX
Señalización usuario-red	GSM 04.08	1441/1451	DTMF Desconexión bucle
Señalización entre centrales	SS n°7 ISUP TUP+, MAP	SS n°7 ISUP TUP+	Asociado al canal o de canal común
Tipo de Transmisión	Digital	Digital	Analógica Digital
Tipo de Central	Digital	Digital	Analógica Digital
Modo de transferencia de información	Circuito / paquete	Circuito / paquete	Circuito
Capacidad de transferencia de información	Voz, Digital sin restricciones, Alternativa Voz / fax Gpo 3	Voz, Digital sin restricciones Audio 3,1 Khz Video Lento	Audio 3,1 Khz Datos en banda de base

Tabla 2

1.6. JERARQUÍA Y NUMERACIÓN DE LA RED GSM

1.6.1 Estructura jerárquica

Como en toda red de telecomunicaciones, La red GSM tiene también niveles jerárquicos que se corresponden con zonas o áreas de control, tanto de la propia red como de sus elementos básicos constitutivos.

En la figura 1 se indica esquemáticamente la jerarquía:

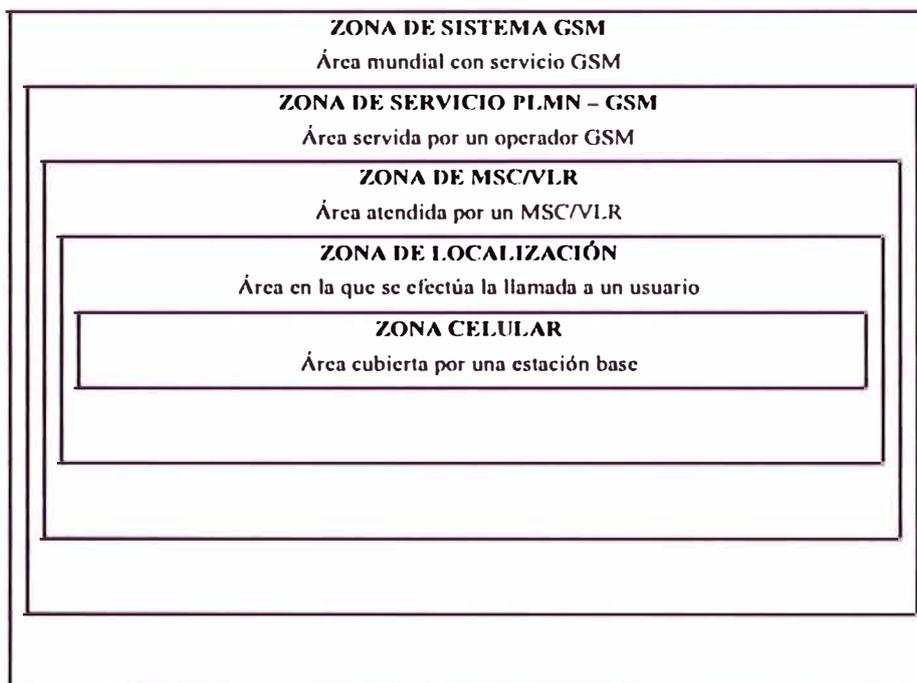


Fig. 1

1) En el nivel más alto está la zona de sistema GSM, GSA (GSM System Area), constituida por el área resultante de la unión de todas las zonas del mundo en las que se presta servicio GSM. En virtud de la itinerancia internacional, todo abonado GSM puede efectuar/recibir llamadas dentro de esta zona, con su número personal.

2) Zona de servicio de un operador GSM, GPA (GSM-PLMN Area). Es el área geográfica en la que un operador determinado proporciona servicio a sus abonados. Normalmente estará circunscrita al entorno de un país, aunque el operador sea multinacional. Hoy día, debido a la liberalización, en un mismo país puede haber dos o más GPA servidas por distintos operadores.

La GPA está formada por un conjunto de centros de conmutación y estaciones de base para el acceso de los abonados y tiene vínculos de interconexión con redes fijas y móviles de otros operadores.

3) Zona de conmutación, es la superficie controlada por un MSC, es decir, el conjunto de zonas de cobertura de estaciones base conectadas al mismo MSC. En la figura 1.2 se han representado dos zonas de MSC. Cada MSC tiene un registro de los abonados itinerantes en su zona. La MSC1 ejerce la función de pasarela (GMSC) con la PSTN.

4) Zona de localización, LA (Location Area), es el área dentro de la cual una estación móvil puede desplazarse libremente sin que se modifique su registro de localización. Comprende varias estaciones base. Cuando es necesario alertar a un móvil para pasarle un mensaje o llamada entrante, se le avisa por las estaciones base de la zona de localización. Un mismo MSC puede controlar varias LA y a la inversa una LA puede depender de más de un MSC.

5) Zona de celda o de estación base, es el área cubierta por una estación base, dentro de la cual una estación móvil puede conectarse vía radio a esa base. Si se utiliza cobertura sectorizada con N sectores (habitualmente $N=3$), se definen N áreas de celda servidas por otras tantas estaciones de base. Cuando estas estaciones comparten el mismo controlador, el conjunto se denomina sistema de estación base y los equipos de cada estación reciben el nombre de transceptores de estación base, BTS (Base Station Transceivers).

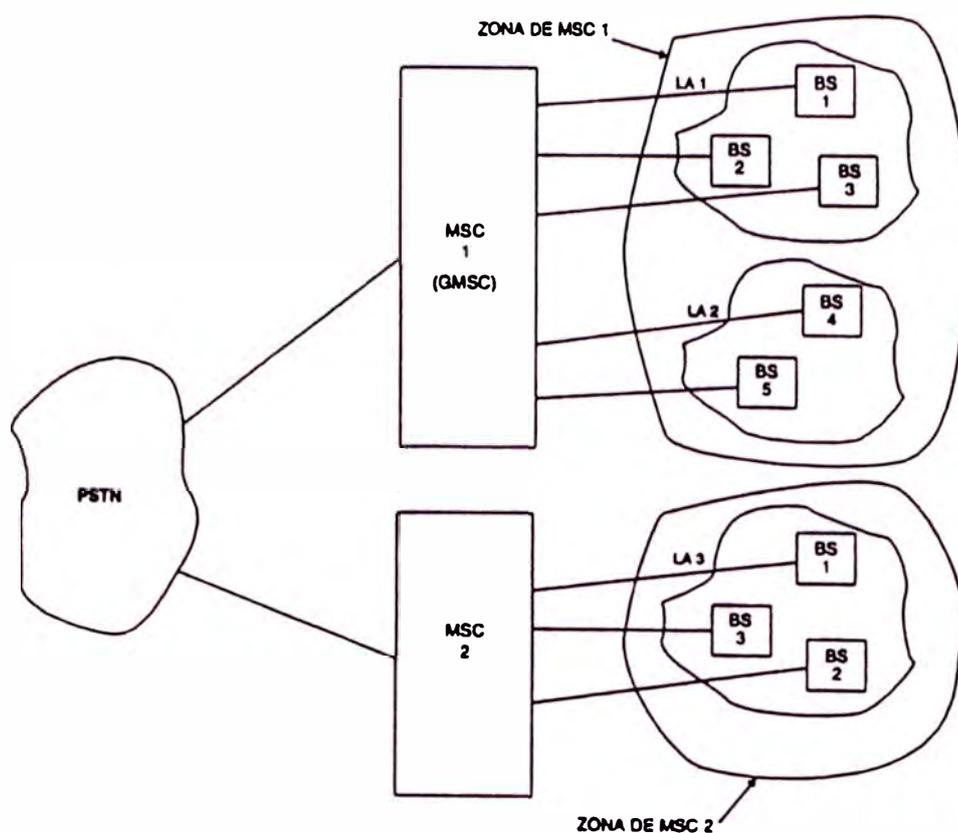


fig. 2

1.6.2. Identidades y números de abonado y red

Para los procesos de autenticación de los usuarios y encaminamiento de las llamadas, se ha establecido en la red GSM un conjunto de números, en correspondencia con la señalización de red:

- 1) Número de identificación del usuario
- 2) Número asociado al equipo telefónico móvil
- 3) Número telefónico del abonado
- 4) Número de encaminamiento por la PSTN.

Los tres primeros números están vinculados a la señalización de la red GSM, en tanto que el último está diseñado para que sea compatible con la señalización de la red PSTN.

A cada abonado se le asigna un número de identificación, IMSI (International Mobile Subscriber Identity), según la Rec. UIT-T E.212, que es un número interno de red para el acceso a las bases de datos de abonados para el aviso a éstos. Como este número se difunde por la interfaz radio y puede ser captado, para preservar la confidencialidad de la identidad, la red GSM, una vez registrado un abonado, le asigna una identidad ficticia, TMSI (Temporary Mobile Subscriber Identity). Los IMEI y TMSI no son visibles para el abonado.

Cada teléfono móvil tiene asociada una identidad de equipo, IMEI (International Mobile Equipment Identity) que se utiliza para la validación del terminal.

Todo abonado tiene asignado su número de teléfono que es el que se utiliza para efectuar llamadas al mismo. El número, denominado MSISDN (Mobile Subscriber ISDN Number), está estructurado según la Rec. E.164 del UIT-T.

Por último, para el encaminamiento de las llamadas destinadas a una MS, se usa un número de ruta o encaminamiento llamado MSRN (Mobile Subscriber Roaming Number). El MSRN es también un número interno, no visible a usuarios GSM ni a los llamantes, integrado en el plan de numeración de la PSTN y compatible con él y de uso transitorio para encaminar las llamadas. Las identidades de red se utilizan para facilitar la localización de las MS y el aviso a las mismas.

Como se acaba de ver, el área de servicio de una red GSM se divide en superficies más pequeñas, las áreas de localización LA, constituidas por varias células. Cada MS realiza un registro o una actualización cada vez que accede a una nueva LA. Cuando hay llamadas entrantes a la MS, se avisa a ésta por todas las células del LA. Las áreas de localización se identifican mediante un número llamado código de área de localización, LAC (Location Area Code).

CAPÍTULO II

ANÁLISIS Y EVALUACIÓN SISTEMÁTICA DE LA ARQUITECTURA GSM

2.1. ARQUITECTURA DE LA RED GSM

2.1.1. Introducción: Subsistemas

Como toda red de telefonía móvil pública, GSM debe realizar numerosas funciones: localización, identificación y registro con autenticación de los abonados, encaminamiento y conmutación de las llamadas con su cómputo y tarificación, señalización e interfuncionamiento con otras redes. Esta multiplicidad implica que la red GSM sea bastante compleja. Para facilitar una descripción general de la misma, se procede de una forma escalonada, dividiendo la red en subsistemas y éstos en sistemas específicos.

Puede definirse un subsistema como una entidad constituida por uno o más equipos físicos encargados de ejecutar una tarea específica. La unión de todas estas tareas asegura el funcionamiento de la red.

En la PLMN-GSM, se distinguen los siguientes subsistemas:

- Subsistema de estaciones base, BSS (Base Station System)

Subsistema de conmutación y gestión, SMSS (Switching and Management Subsystem)

· Subsistema de operación y mantenimiento, OMSS (Operation and Maintenance Subsystem).

Cada subsistema está formado por una o varias entidades funcionales que se intercomunican a través de diferentes interfaces mediante protocolos de señalización específicos. Las interfaces se designan por letras.

Fuera de lo que es estrictamente la red, está el conjunto de unidades móviles MS que al no tener relación mutua no forman un subsistema, pero sí tienen una entidad común. La relación entre este conjunto y la red se realiza a través de la "interfaz aire" (air interface) llamada también interfaz radio, que se designa abreviadamente por "interfaz Um".

El BSS se relaciona con el SMSS a través de la denominada "interfaz A".

En la figura 3 se ilustra esta estructura general de subsistemas GSM.

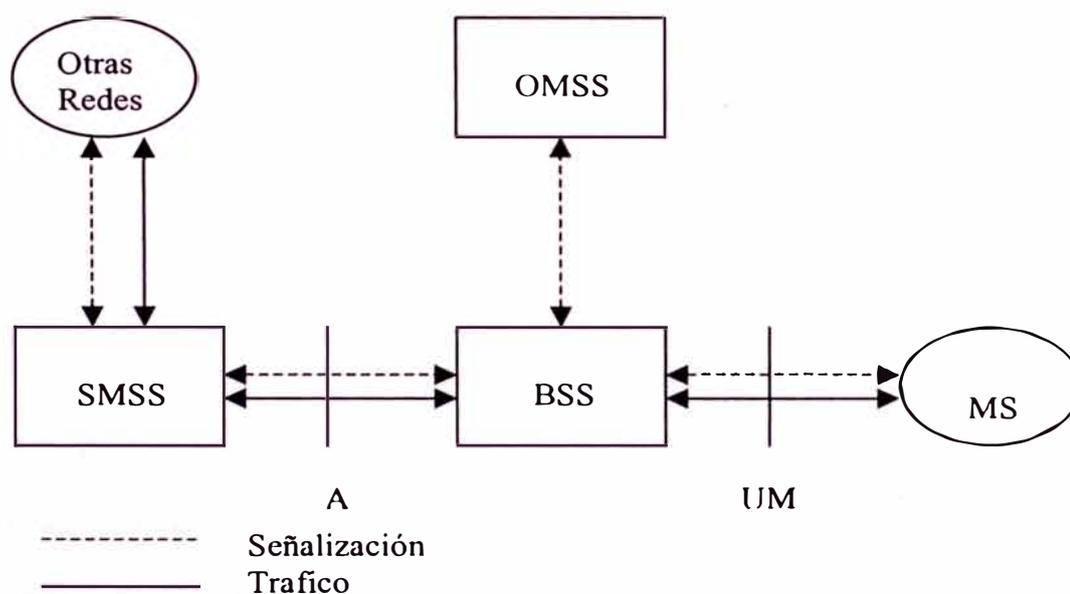


Fig. 3

1) Sistema de estación base

El sistema de estación base comprende las funciones de capa física, según el modelo OSI, para la interconexión con las MS a través de la interfaz radio Um. Para ello hace uso de un conjunto de canales lógicos. Los canales lógicos son estructuras de datos y protocolos que realizan funciones de intercambio de información necesarias para:

- Seguimiento/localización de las MS y aviso a las mismas
- Establecimiento de las llamadas
- Mantenimiento de las comunicaciones establecidas
- Supervisión y control de la calidad
- Facilidades operativas

En el BSS se identifican dos unidades funcionales:

- a) Controlador de estación base, BSC (Base Station Controller)
- b) Estación base, BTS (Base Transceiver Station).

Ambos comparten un conjunto de funciones de control, BCF (Base station Control Functions). La interfaz entre el BSC y la BTS se denomina "A-bis" ya que se definió, en la normativa GSM con posterioridad, cuando se decidió subdividir funcionalmente el BSS.

2) Subsistema de conmutación y gestión

El subsistema de conmutación y gestión tiene a su cargo todas las funciones requeridas para manejar los protocolos de señalización necesarios para el

establecimiento, mantenimiento y liberación de las llamadas, con la componente específica de la movilidad. Las funciones básicas del SMSS, son:

Localización y registro con autenticación de los abonados

Encaminamiento de las llamadas

Gestión de los recursos radio durante las llamadas

Tratamiento de los aspectos de las llamadas relacionados con la movilidad de los usuarios (por Ej. radio búsqueda, traspaso)

· Intercambio de señalización entre entidades funcionales de la red GSM y con redes externas

El subsistema de conmutación y gestión está constituido por las siguientes unidades funcionales:

a) Centro de conmutación de móviles, MSC (Mobile Switching Center)

b) Registro general de abonados, HLR (Home Location Register)

c) Registro de visitantes, VLR (Visitors Location Register)

La intercomunicación de este subsistema con las redes externas se realiza a través de la denominada función de interfuncionamiento, IWF (Inter Working Function).

3) Subsistema de operación y mantenimiento

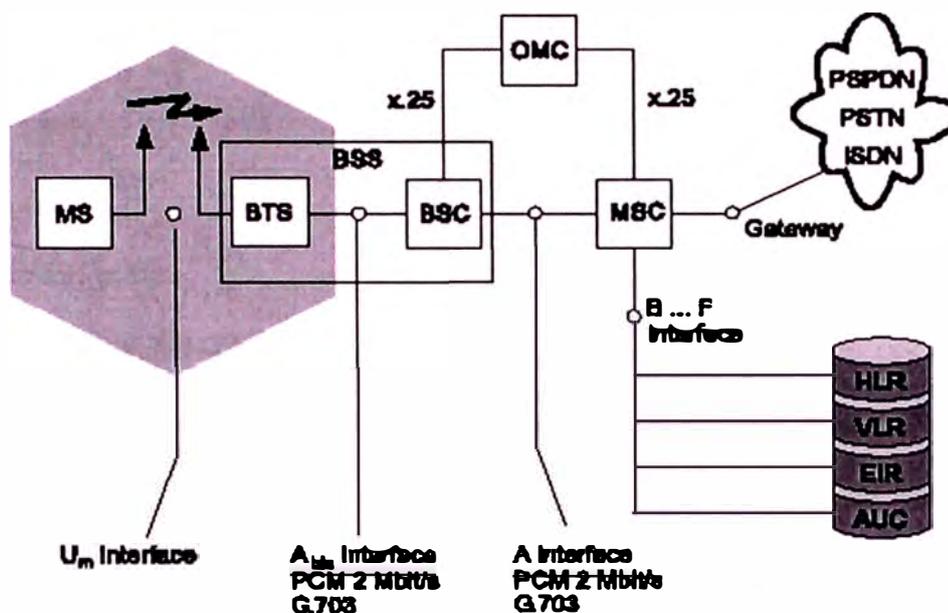
Este subsistema tiene a su cargo las funciones de gestión de red, características de las modernas redes de telecomunicaciones y los aspectos relativos a la seguridad del acceso a la red y de las comunicaciones para los usuarios y los equipos.

La primera aplicación se realiza mediante el centro de operaciones y mantenimiento, OMC (Operations and Maintenance Centre). Para la segunda hay dos unidades funcionales:

- El centro de autenticación, AuC (Authentication Centre)
- El registro de identidad de equipos, EIR (Equipment Identity Register)

2.1.2. Arquitectura funcional de la red GSM

El conjunto estructurado de las diferentes entidades funcionales, pertenecientes a los subsistemas descritos, con las interfaces que las separan y sus interconexiones lógicas constituye la denominada arquitectura funcional de la red GSM. En la figura 4 se representa esta arquitectura que se denomina también modelo de referencia de GSM.



AuC: Authentication Center
BSC: Base Station Controller
BSS: Base Station System
BTS: Base Transceiver Station
EIR: Equipment Identity Register
HLR: Home Location Register

ISDN: Integrated Services Digital Network
MS: Mobile Station
MSC: Mobile Switching Center
OMC: Operations and Maintenance Center
PSTN: Public Switched Telephone Network
VLR: Visitor Location Register

Fig. 4

En la figura 4 se observan las diferentes unidades funcionales del modelo, junto con las interfaces que las separan. Una unidad funcional puede corresponder a un equipo

físico concreto o, alternativamente, un mismo equipo físico puede comprender dos unidades funcionales, en cuyo caso la interfaz entre ellas es interna al equipo. Las interfaces se han designado con una notación alfabética, con letras como se indica en la Tabla 3.

Designación de interfaces de red GSM

Interfaz	Unidades funcionales relacionadas
A	BSC – MSC
B	MSC – VLR
D	MSC – HLR
D	VLR – HLR
E	MSC – MSC
F	MSC – EIR
G	VLR – VLR

Tabla 3

2.1.3. Estación móvil

La estación móvil, MS (Mobile Station), es el equipo físico utilizado por el usuario de GSM para acceder a los servicios proporcionados por la red a través de la interfaz Um. Se ha especificado esta interfaz de forma que las tecnologías de MS y de red GSM puedan evolucionar por separado, sin imposición de restricciones mutuas.

Como equipo, la MS proporciona la plataforma física para el acceso, pero es "anónima" y no puede funcionar con la red hasta que se la "personaliza" mediante la inserción de una "tarjeta inteligente" (smart card) denominada módulo de identidad de abonado, SIM (Subscriber Identity Module) donde figura, entre numerosas informaciones, la identidad del abonado, IMSI (International Mobile Subscriber Identity) que equivale a la "línea virtual" que conecta al usuario con la red.

En GSM se considera por separado al usuario y a los terminales, lo que acrecienta la movilidad personal. Por ejemplo, un usuario que viaja fuera de su lugar de residencia no necesita llevarse el terminal. Puede alquilar uno en el lugar de destino y personalizarlo con su tarjeta SIM. En cuanto se inserta la tarjeta en cualquier MS homologada, ésta queda preparada para efectuar/recibir llamadas y acceder a los servicios abonados.

La MS debe desempeñar las siguientes funciones básicas:

- Proporcionar una interfaz de comunicaciones entre los usuarios y la red vía radio

- Realizar la transmisión/recepción de las informaciones de usuario y de señalización a través de esa interfaz radio

- Efectuar la inicialización de la conexión con la red

- Realizar la sintonización de frecuencias y seguimiento automático de las estaciones base en cuya zona de cobertura se encuentre

- Efectuar funciones de procesamiento de la voz: conversión analógico/digital y viceversa

- Realizar la adaptación de interfaces y velocidades para las señales de datos.

Toda MS posee unos atributos y pertenece a una clase de equipo. La norma GSM ha establecido tres clases de MS: instaladas en vehículos, transportables y portátiles. Estas últimas son las que ha impuesto el mercado. Son equipos de pequeño tamaño, con antena imbricada en el propio terminal y batería incorporada de peso liviano.

Con respecto a la configuración, desde el punto de vista funcional, la MS comprende las siguientes unidades:

- 1) Terminación móvil, MT (Mobile Termination), que se materializa en el equipo físico básico. Dependiendo del tipo de servicios sustentados hay varias clases de MT.

2) Adaptador de terminal, TA (Terminal Adaptor), para la conexión de diferentes equipos terminales de datos a la MT. Los TA realizan funciones de conversión/adaptación de velocidad digital y de protocolos.

3) Equipo terminal, TE (Terminal Equipment), de dos clases: TE1 con interfaz ISDN y TE2 con otros tipos de interfaces.

2.1.4. Sistema de estaciones base

El BSS comprende el conjunto de equipos utilizados para proporcionar cobertura radioeléctrica en el área celular. Se divide en dos partes: las estaciones transceptoras de base BTS y los controladores de esas estaciones, BSC.

Las BTS están constituidas por los equipos transmisores-receptores de radio (transceptores), los elementos de conexión al sistema radiante (combinadores, multiacopladores, cables coaxiales), las antenas y las instalaciones accesorias (torres soporte, pararrayos, tomas de tierra, etc.).

Debido al elevado número de BTS de una red y a que estas funcionan en lugares donde no hay mantenimiento "in situ", los equipos de BTS deben ser sencillos, fiables, duraderos y de coste moderado. Por ello, la mayoría de las funciones de control se realizan en el BSC. El BSC se encarga de la gestión de varias BTS en lo relativo a los recursos de radio: asignación, utilización y liberación de las frecuencias, traspasos, funcionamiento con saltos de frecuencias, etc. También puede realizar ciertas funciones de conmutación.

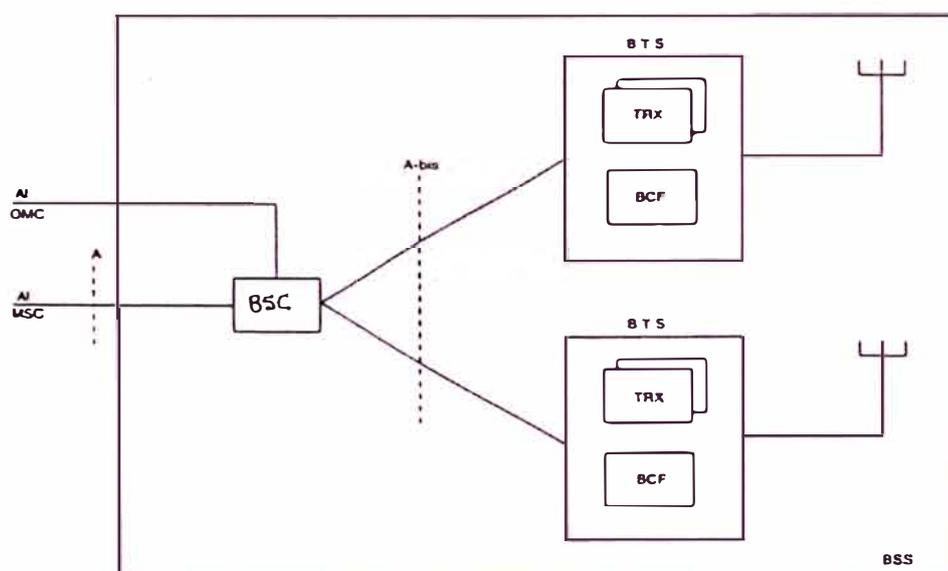
Las interfaces del BSC con las BTS y con la red son la A-bis y la A respectivamente.

El BSS desempeña las siguientes funciones:

- Transmisión/recepción radioeléctrica, a través de la interfaz Um

- Localización de las MS para su registro inicial o actualización
- Establecimiento, supervisión y conclusión de las llamadas
- Traspaso entre BTS controladas por el mismo BSS
- Procesado de voz y adaptación de velocidad
- Control de equipos y funciones de reconfiguración
- Control de mantenimiento rutinario.

En la figura 5 se representa esquemáticamente un BSS formado por un BSC y dos BTS, cada una de los cuales tiene varios transceptores radio TRX con ciertas funciones de control BCF. Se han indicado también las interfaces A-bis y A.



BSC...: Controlador de Estaciones Base
BTS...: Estación Transceptora Base

BCF...: Función de Control de Estación Base
TRX...: Transceptor

Fig. 5

2.1.5. Centro de conmutación de móviles

El centro de conmutación de móviles, MSC es, en esencia, una central telefónica que realiza las funciones de encaminamiento y conmutación de llamadas para las MS

situadas en su demarcación (área de central). Además, proporciona las funciones adicionales necesarias para sustentar la movilidad y organizar la asignación de los recursos radioeléctricos. Entre esas funciones, podemos destacar las siguientes:

- 1) Procedimientos para la localización y registro de abonados y su actualización.
- 2) Gestión de llamadas y aviso a las MS de llamadas entrantes.
- 3) Procedimientos para el traspaso de llamadas.
- 4) Establecimiento de circuitos con conexión entre las MS y la PSTN u otras redes.
- 5) Gestión de los protocolos de señalización con el BSC e intercambio de información de señalización con el protocolo MAP del SS7.
- 6) Funciones de "pasarela", GMSC (Gateway-MSC), para el interfuncionamiento con la PSTN. Esta función la pueden incorporar todos los MSC de la red o únicamente algunos.
- 7) Tratamiento de las funciones de interfuncionamiento
- 8) Recopilación de datos de tráfico y facturación.

Asociada al MSC está la función de interfuncionamiento, IWF (InterWorking Function), que proporciona las facilidades necesarias para la conexión del abonado GSM con otras redes y la prestación de las diferentes clases de servicios.

La capacidad máxima de un MSC puede variar bastante de unas redes a otras. En una red GSM existen, usualmente, varios MSC que suelen estar interconectados en forma de malla.

2.1.6. Registro general de abonados

El registro general de abonados, HLR (Home Location Register), es una base de datos, donde están inscritos todos los clientes de un operador, que se utiliza para la

gestión de los abonados móviles. El HLR contiene toda la información administrativa de cada abonado, junto con los datos de localización del mismo. La información contenida en el HLR puede clasificarse como sigue:

- a) Datos permanentes entre los que figuran la identificación del abonado (IMSI y MSISDN), información relativa a los teleservicios, servicios portadores y servicios suplementarios (con sus parámetros) suscritos y limitaciones de servicio (p. Ej. Restricciones de itinerancia).
- b) Datos transitorios, actualizables, que son los relativos a la localización de la MS a fin de encaminar las llamadas entrantes al MSC donde esta registrada la MS. Esta información comprende el MSRN, direcciones del VLR y del MSC e identidad temporal (TMSI) de la MS.

Una red GSM puede contener uno o más HLR según el número de abonados, la capacidad del equipo y la organización de la red. La capacidad es función del tamaño de la memoria y de factores dependientes del procesado de la información.

El HLR puede realizarse como una unidad integrada con el MSC/VLR o como unidad separada. La capacidad típica de un HLR autónomo es de unos 500.000 abonados.

En GSM se ha establecido que todas las llamadas entrantes converjan en el HLR. De este modo se simplifica el acceso, desde el HLR y según la información contenida en el mismo se encamina la llamada hacia el MSC donde está registrada la MS.

Funcionalmente existe un único HLR por cada red GSM, aunque físicamente suele haber más de un equipo por razones de capacidad y seguridad.

2.1.7. Registro de abonados itinerantes

El registro de abonados visitantes o itinerantes, VLR (Visitor Location Register) es una base de datos, asociada a un MSC, donde se almacena información dinámica sobre los usuarios transeúntes en la zona controlada por ese MSC. Cuando una MS itinerante entra en una zona de MSC, este centro notifica esa situación a su VLR asociado. La MS ejecuta un proceso de inscripción o registro y recibe una dirección de visitante que se traduce en un número de ruta. MSRN (Mobile Subscriber Roaming Number) que sirve para encaminar las llamadas destinadas a esa MS. El VLR contiene también otras informaciones necesarias para el tratamiento de las llamadas entrantes/salientes de la MS. Esta información la obtiene el VLR mediante un dialogo con el HLR.

La información básica contenida en el VLR, toda ella de carácter temporal, es la siguiente:

- Identidad permanente del abonado (IMSI)

- Identidad temporal del abonado (TMSI)

- Número telefónico del abonado (MSISDN)

- Numero de encaminamiento (MSRN)

- Identidad de la zona de localización (LAI)

- Datos del abono del usuario (servicios, restricciones)

El sistema GSM funciona según el principio de que todo abonado es itinerante en un área de central, por lo que estará inscrito, en cada momento en algún VLR. El VLR equivale entonces a la terminación "virtual" de la Línea de abonado móvil. Un VLR puede controlar una o más áreas de central MSC dependiendo de su capacidad. El número típico de abonados que puede gestionar es de unos 150.000.

Aunque, físicamente, el VLR puede realizarse como una unidad independiente, prácticamente todos los fabricantes de equipos de conmutación construyen el VLR asociado al MSC.

Esta proximidad física acelera el intercambio de información entre el MSC y el VLR necesario durante las operaciones de registro de abonados y de establecimiento de las llamadas.

2.1.8. Unidades funcionales de seguridad

La red GSM se ha diseñado con un elevado grado de seguridad en la interfaz radio Um, que por su propia naturaleza, resulta accesible al público. Para proteger a los abonados de intrusiones y al operador de accesos indebidos, hay tres niveles de seguridad:

- 1) Seguridad en el acceso, en una doble vertiente: protección al abonado, de forma que cualquiera que pudiese captar sus mensajes de acceso no pueda saber quién los envía ni donde se encuentra y protección al operador, permitiéndose la conexión a la red únicamente a los usuarios que superen un proceso de validación denominado autenticación. Dicho proceso se aplica en el acceso inicial (registro) y en los establecimientos de llamadas.
- 2) Seguridad en cuanto a los equipos utilizados, autorizándose solamente la conexión de equipos homologados, en condiciones correctas de funcionamiento y no sospechosos.
- 3) protección, mediante cifrado, de la información transmitida, frente a escuchas intencionadas.

Para la realización de las funciones de seguridad hay dos órganos específicos que son:

El Centro de autenticación (AUC)

El Registro de identidad de equipos (EIR).

El AuC es una base de datos donde se guardan las identidades (IMSI) de los abonados junto con la clave secreta de identificación, ki, de cada usuario, el cual tiene almacenada en la tarjeta SIM de su teléfono móvil una copia de ki. El AUC está asociado al HLR y proporciona la información necesaria para la validación de los usuarios por parte de la red. Para ello tiene almacenados dos algoritmos denominados A3 y A8. El algoritmo A3 se utiliza para la autenticación y el A8 para la generación de la clave de cifrado de la información.

El EIR es una base de datos que contiene las identidades de los equipos móviles, IMEI (International Mobile Equipment Identity), que identifican los equipos por sus códigos de fabricación y homologación. Cuando un teléfono móvil trata de realizar una llamada, el MSC consulta al EIR la validez del IMEI de ese equipo. En el EIR hay tres listas de aparatos:

- 1) Lista "blanca", donde figuran las identidades de aparatos autorizados para el acceso
- 2) Lista "negra", que contiene las identidades de equipos que tienen prohibido el acceso, por ejemplo, porque han sido denunciados como robados
- 3) Lista "gris", donde están las identidades de equipos en observación, por ejemplo porque se ha detectado en ellos algún tipo de fallo.

El cifrado en GSM se realiza mediante un algoritmo complejo derivado de tecnología militar que se denomina "algoritmo A5". Como GSM se desarrolló en principio para

su aplicación en países de la Europa occidental, la utilización de este algoritmo no planteó ningún problema especial. Sin embargo, al expansionarse GSM hacia otros países particularmente en Europa oriental- surgieron dificultades debido a que las leyes de Comercio Exterior limitaban o prohibían la exportación de tecnología a otros países. La evolución política posterior alivio algo el problema, si bien por parte del MoU de GSM, órgano controlador del uso de A5, se propuso una solución alternativa consistente en el desarrollo del algoritmo A 5/2.

2.1.9. Centro de Operación y Mantenimiento

En el OMC se realizan y supervisan las funciones de control y gestión de la red de carácter técnico y/o administrativo, que pueden ser necesarias debido a variaciones en las condiciones externas. Como ejemplo de funciones de gestión, pueden citarse las siguientes:

1) Funciones relacionadas con la gestión administrativa o comercial de la PLMN-GSM, tales como las relativas a:

abonados

terminales

facturación

contabilidad

estadísticas

2) Gestión de la seguridad en la red

3) Gestión de la explotación y la calidad de funcionamiento de la red

4) Control de modificaciones del sistema

5) Mantenimiento.

2.2. AUTENTIFICACIÓN

Una de las características más interesantes de la norma GSM es el elevado grado de seguridad previsto, tanto para el acceso a la red como en el curso de la comunicación. Para impedir el acceso fraudulento, se ha establecido un mecanismo de autenticación de usuarios y verificación de equipos al que están obligadas las estaciones móviles antes de:

- a) registrarse en la red
- b) realizar o recibir una llamada
- c) obtener servicios suplementarios

La autenticación permite a la red verificar si la MS que pretende una conexión está habilitada para ello. Con este fin se utilizan unas claves de usuario y unos algoritmos que son:

K_i : Clave de autenticación individual de abonado, almacenada en el centro de autenticación (AuC) y en la tarjeta SIM del abonado.

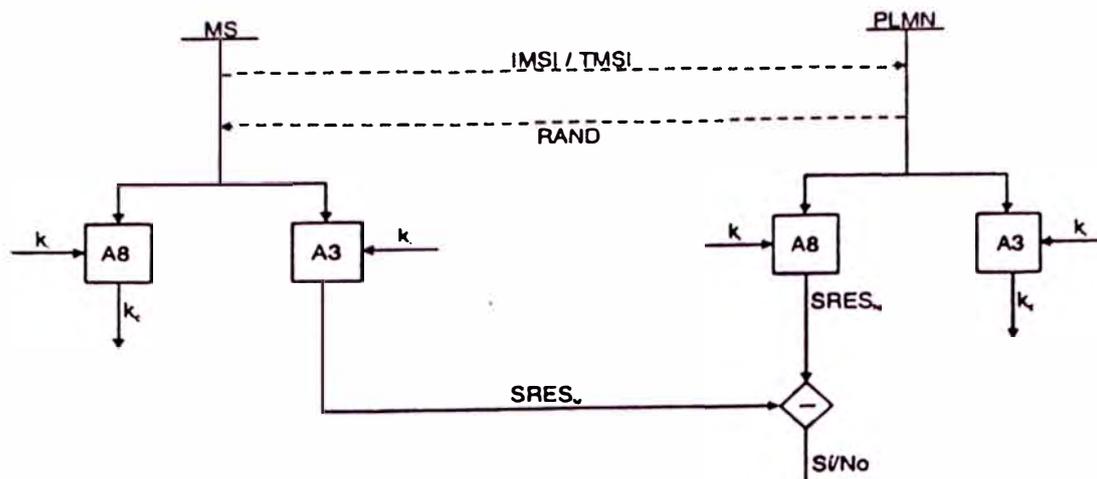
K_c : Clave de cifrado para la transmisión.

A3: Algoritmo para la autenticación, residente en el AUC y en la SIM.

A8: Algoritmo para la generación de la clave de cifrado, residente en el AUC.

El proceso de autenticación es el siguiente (figura 6). Cuando pretende un acceso a la red, la MS envía al AUC su IMSI o TMSI, a través del HLR o del VLR, según se trate del primer acceso o de otro posterior. En el AUC se obtiene la clave individual del abonado K_i a partir de su identidad. Asimismo, se genera un número aleatorio RAND. Se aplican K_i y RAND a los algoritmos A3 y A8 obteniéndose como salidas la respuesta personal o "firmada", $SRES_N$ (Signed Response) de la red y la clave de cifrado K_c , respectivamente. El AUC envía al VLR la terna $SRES_N$, RAND, K_c . El

VLR transmite un mensaje a la MS solicitando su autenticación. En el mensaje se incluye el parámetros RAND.



K_i : Clave Individual de autenticación de abonado (128 bits)
 K_c : Clave de cifrado
 RAND: Numero aleatorio (128 bits)

SRES: Respuesta "firmada" (32 bits)
 A3: Algoritmo de autenticación
 A8: Algoritmo de generación de k_c

Fig. 6

La MS extrae de su SIM la clave individual K_i y la aplica, junto con el RAND recibido, al algoritmo A3 residente en la SIM para obtener la respuesta personal $SRES_M$. Asimismo, con RAND y K_i se genera la clave de cifrado K_c que se almacena para ulterior uso. La MS devuelve la $SRES_M$, vía MSC, al VLR donde se comprueba la igualdad de $SRES_N$ y $SRES_M$. Si coinciden, concluye satisfactoriamente el proceso de autenticación.

La validación del equipo físico se realiza en el EIR, del modo siguiente (figura 7). La MSC envía a la MS un mensaje solicitando su IMEI. La respuesta de la MS se encamina al EIR donde se verifica el IMEI.

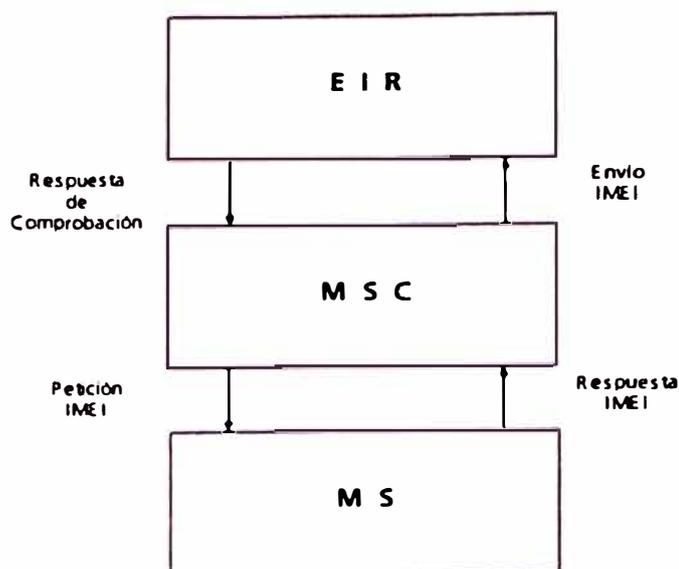


Fig. 7

Una vez realizado el registro inicial, cualquier conexión de la MS con la red se realiza con una identidad "prestada" temporalmente a la MS (TMSI), lo que imposibilita la extracción de su identidad real por cualquier agente que estuviera a la escucha del canal de señalización.

Realizada la autenticación, la posterior transmisión de información durante una llamada va protegida por un cifrado variable con el tiempo. Para ello se utiliza el algoritmo A5, del modo siguiente (figura 8). En cada trama de transmisión de la red al móvil, el algoritmo recibe como entradas el número de trama, FN (Frame Number) y la clave de cifrado K_c y genera un bloque S1 de bits que se suman uno a uno, en modulo 2, a los bits de información codificada correspondientes a esa trama y se transmiten los bits suma. En recepción, se repite el proceso, es decir en la MS se genera el bloque de S1 bits que sumados (en módulo 2) a los bits recibidos permiten recuperar el conjunto original de bits de información, gracias a las propiedades de la

adición módulo 2. En sentido contrario, de MS a red, el proceso es similar, utilizándose el bloque S2.

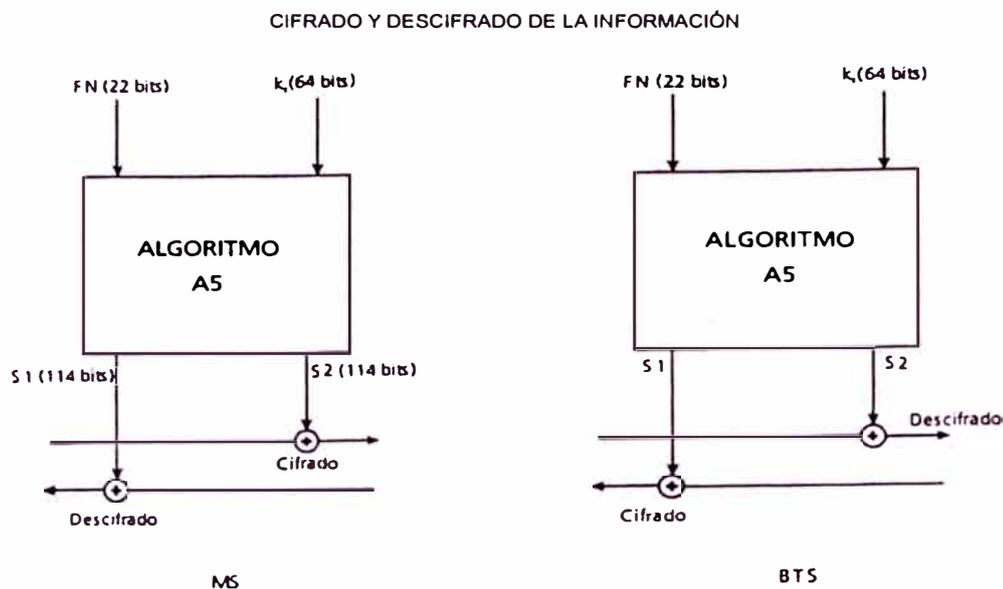


Fig. 8

2.3. ENCAMINAMIENTO DE LAS LLAMADAS

En este apartado describiremos el proceso general de encaminamiento, que se explica con más detalle mas adelante. Distinguiremos dos casos, según se trate de llamadas de PSTN a PLMN-GSM o a la inversa.

Caso 1) Llamadas de PSTN a PLMN-GSM

Las fases básicas del encaminamiento se ilustran en la figura 9 y obedecen a los dos principios operativos fundamentales de GSM:

- a) Todas las llamadas entrantes se dirigen al HLR
- b) Toda MS es visitante de algún MSC

Consideramos el caso general en que la MS está itinerante en un MSC que no es el propio del abonado, es decir, el abonado está fuera de su lugar habitual de residencia.

Cuando se haya registrado en la red, se habrá inscrito en el VLR del MSC visitado y esa información se habrá transferido al HLR.

Las etapas de encaminamiento son:

1) El abonado fijo marca en su red el número del abonado móvil (MSISDN) el cual, a través de la PSTN llega al GMSC y de éste al HLR. En caso de red telefónica inteligente puede desde ella interrogarse directamente al HLR.

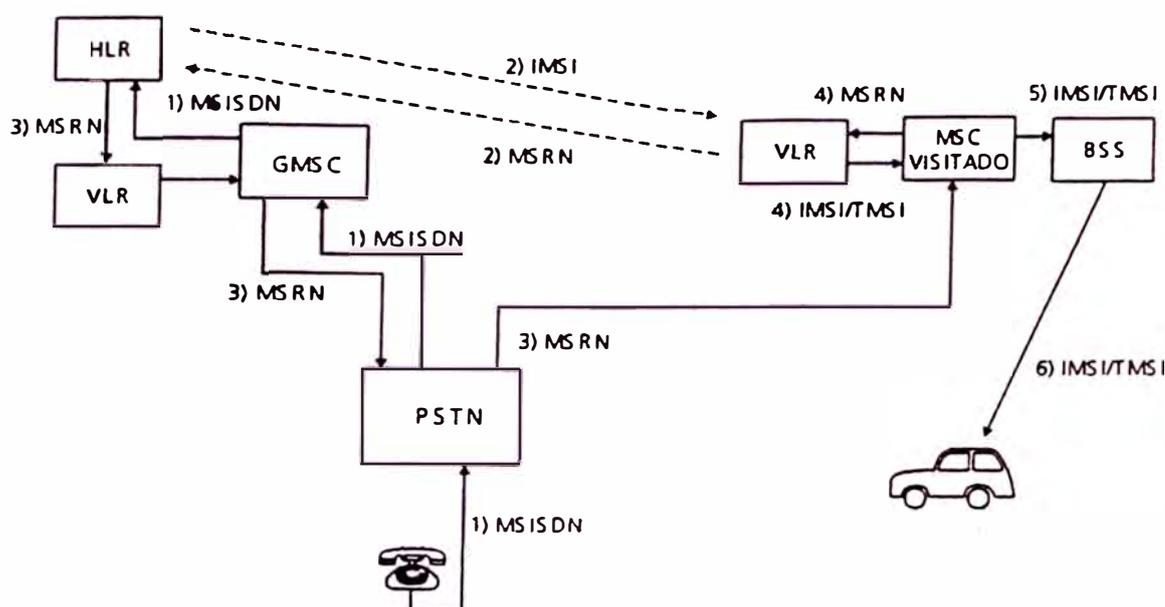


Fig. 9

2) El HLR a partir del MSISDN obtiene la identidad IMSI del abonado llamado y la envía al VLR para obtener un número de encaminamiento MSRN.

3) El HLR proporciona el MSRN al GMSC donde estaba retenida la llamada. Con este número, la llamada prosigue a través de la PSTN hasta llegar al MSC visitado.

4) Desde este MSC y con el MSRN se interroga al VLR el cual retorna la identidad real del abonado llamado (IMSI) ó la identidad temporal (TMSI) si ya la había

atribuido a ese abonado. El VLR notifica también al MSC el área de localización donde se encuentra la estación móvil llamada.

5) El MSC envía el IMSI/TMSI al BSS donde están las estaciones base que cubren el área de localización.

6) Desde esas estaciones base se produce el aviso de llamada a la MS destinataria de la misma. Una vez que esta MS contesta, se conectan los circuitos de conversación con el teléfono llamante y se libera el MSRN para su uso por otros abonados.

Hay una alternativa, contemplada en la norma GSM, consistente en que el VLR proporcione al HLR un MSRN cuando se registre la MS, para las eventuales llamadas que pueden producirse. Así se evitaría la fase 2, sin embargo, este procedimiento es poco eficiente pues implica la reserva de muchos MSRN que no se utilizarán si no hay llamadas, por lo que suele preferirse el método aquí expuesto de asignación por demanda del MSRN.

Caso 2) Llamadas de PLMN-GSM a PSTN

Las llamadas originadas en una estación móvil con destino a un teléfono fijo no plantean especiales problemas de encaminamiento. El cliente marca con el teclado de su terminal el número deseado, que aparece en la pantalla de su equipo para verificación y activa la tecla de "envió". Se ejecutan en la MS los protocolos que, vía la interfaz Um, establecen una conexión de señalización con el MSC. En el MSC/VLR se analiza si procede autorizar la llamada en función del perfil de servicio del usuario. En caso positivo, desde el MSC se encamina la llamada hacia la central de destino de la PSTN, mediante el análisis de las cifras del número marcado. Obsérvese que como ese número es tipo PSTN no hay que cambiarlo como sucedía antes. Eventualmente, la llamada llega al teléfono fijo de destino, se produce el aviso

acústico y se envía también una señalización al móvil llamante, indicativa de este aviso al llamado, como en telefonía convencional. Una vez que el llamado descuelga se constituye el circuito de conversación que se prolonga hasta su terminación en el móvil mediante un canal de tráfico TCH entre la BTS servidora y el móvil.

2.4. TRANSMISIÓN POR LA RED FIJA

La red PLMN-GSM como tal, y pese a sus características específicas de movilidad, tiene un ámbito de acción funcional reducido. Para la interconexión entre sus unidades y para la consecución de la conectividad con los abonados fijos, debe utilizar medios de transmisión y conmutación de la red telefónica fija PSTN.

Las conexiones entre las unidades funcionales de la red GSM y entre los MSC de esta red y la red telefónica PSTN, se han realizado teniendo en cuenta las siguientes consideraciones:

- 1) Mínima incidencia técnica y operativa sobre la red PSTN
- 2) Facilidad de interfuncionamiento
- 3) Cumplimiento e Implementación, en lo posible, del Plan de transmisión de la PSTN
- 4) Control de degradaciones de señal en cuanto a retardos, ecos, ruido y distorsión
- 5) Cumplimiento e Implementación de criterios de calidad de servicio, en especial para conexiones internacionales
- 6) Criterios de economía de los enlaces

Cuando se diseñó el sistema GSM, la PSTN se encontraba, en casi todos los países europeos, en un grado avanzado de modernización, con un alto porcentaje de digitalización, tanto en transmisión como en conmutación. Por ello, las conexiones

dentro de la red GSM y entre ésta y la PSTN se han especificado y establecido mediante enlaces PCM a 2 Mbit/s (30 + 2 canales de 64 kbit/s con ley A de 8 bits) según norma G-703 del UIT-T.

Para la definición del Plan de transmisión por la PLMN-GSM hay que tener en cuenta que, debido al procesamiento de la señal telefónica en GSM (codificación de fuente y canal) necesario para reducir la anchura de banda y compensar las perturbaciones de la transmisión radio, la calidad de transmisión por esa red será, en general, inferior a la de la PSTN y, en algunos casos, no podrán cumplirse las recomendaciones del UIT-T para transmisión por línea. En consecuencia, se ha realizado un gran esfuerzo por mejorar la calidad lo más posible estableciendo configuraciones adecuadas de encaminamiento y de red.

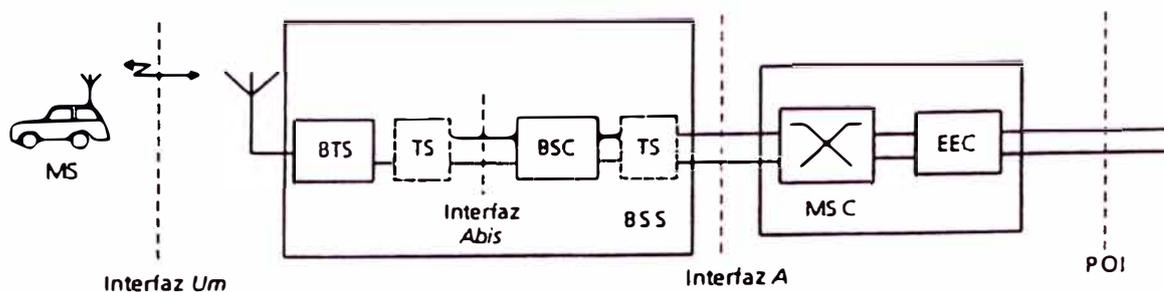
Los requisitos de transmisión en la red PLMN - GSM se han basado primordialmente en conexiones internacionales, considerándose que si la calidad de transmisión es suficiente para una conexión internacional, los enlaces nacionales tendrán, al menos, la misma calidad.

2.4.1. Configuraciones de red

Para la especificación del Plan de Transmisión se han establecido configuraciones de red y conexiones de referencia.

En la figura 10, se representa la configuración básica de interconexión para el interfuncionamiento GSM-PSTN, según la Recomendación GSM 03.50. Las conexiones básicas corresponden a las realizaciones físicas de las interfaces A-bis (si se utiliza) y A y se realizan mediante sistemas de transmisión, TS (Transmission Systems) de tipo PCM. La interfaz de acceso a la PSTN es el denominado punto de

interconexión, POI (Point of Interconnection). Este punto es el de nivel relativo 0dB del Plan de transmisión.



ECC: Control del Eco Eléctrico
TS: Sistema de Transmisión

POI: Punto de Interconexión

Fig. 10

Desde la MS, a través de la interfaz Um, de la BTS y desde esta hacia el resto de la red GSM y hacia la PSTN, las conexiones son a 4 hilos (como se indica en la figura mediante la doble línea). La terminación en un aparato telefónico convencional de PSTN es a 2 hilos.

Como es sabido, en la conversión 2/4 hilos pueden producirse reflexiones que se traducen en ecos perceptibles por los usuarios que hablan y escuchan. A este tipo de eco debido a la transmisión se le llama "eco eléctrico", para distinguirlo del "eco acústico" producido por acoplamiento micrófono-auricular del teléfono. La molestia producida por los ecos es tanto mayor cuanto mas grande es el retardo de propagación. En el caso de GSM este retardo es importante a causa de los procesos a que se somete la señal telefónica (codificación de fuente y codificación de canal con entrelazado). A este retardo hay que sumarle, además, el tiempo de tránsito por la red PSTN que puede ser grande en el caso de conexiones internacionales vía satélite.

Para reducir las perturbaciones debidas a los ecos se aplican dos tipos de acciones. En la estación móvil se habilita un dispositivo de control del eco acústico para minimizar el eco enviado al extremo distante. En el punto de interconexión (POI) se emplea un dispositivo de control del eco eléctrico, EEC (Electrical Echo Control), para atenuar el eco devuelto por la PSTN hacia la red GSM, como se observa en la figura 11.

En la interfaz Um, cada canal de voz se transmite codificado a 13 kbit/s ("Full rate"). En cambio, a través de la red PCM, cada canal debe transmitirse a 64 kbit/s según la norma G-703 ya citada. Ello requiere la realización de una transcodificación para adaptación de las velocidades que se realiza en una unidad denominada TRAU (Transcoding and Rate Adaptation Unit).

La norma GSM contempla varios tipos de BSS, según donde se ubique la TRAU, y ello tiene una importante repercusión económica. Presentamos aquí dos casos para que se aprecie la influencia de la situación de la TRAU sobre la economía de la red. En la figura 11, se representa un BSS "tipo 1" en el que la TRAU esta ubicada en el propio BSS.

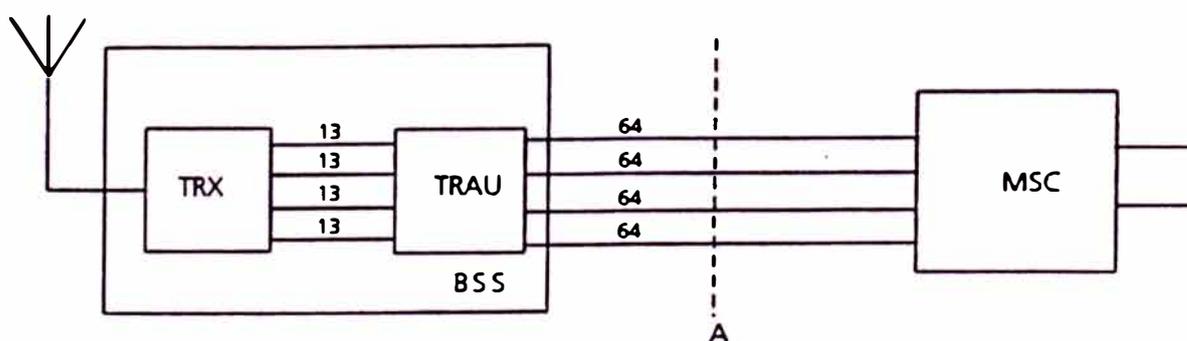


Fig. 11

Se considera, a modo de ejemplo, la transmisión de 4 canales de voz. Entre la TRAU y los transceptores radio, cada canal va a 13 kbit/s. En la interfaz A, al otro lado de la TRAU, la transmisión es a 64 kbit/s. Por lo tanto, se requerirán 4 canales PCM de esa velocidad para la conexión con el MSC.

En la figura 12 se ilustra una configuración alternativa en la cual la TRAU esta situada junto al MSC. Ahora la conversión de velocidad se hace junto al MSC, por lo que los enlaces de la interfaz A pueden realizarse a 13 kbit/s. Entonces pueden multiplexarse los 4 canales de 13 kbit/s en un único canal PCM de 64 kbit/s. Se observan en la figura los multiplexores que, en realidad son de 16 a 64 kbit/s ya que, además de la voz, incluyen a señalización. Como se ve la economía de enlaces físicos en la interfaz A es de cuatro a uno.

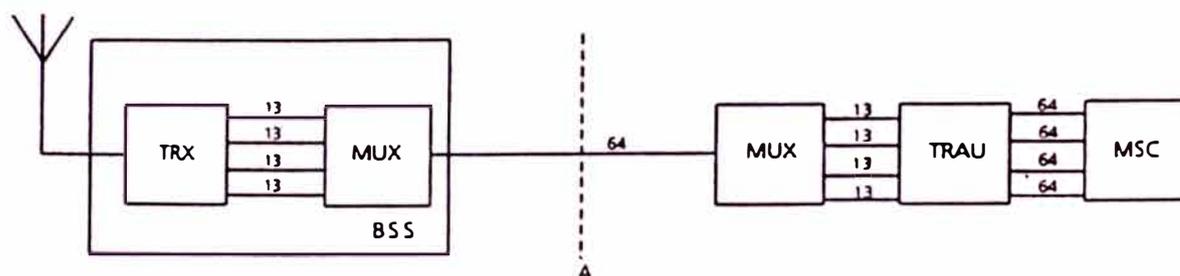


Fig. 12

En la figura 13, se representa el modelo funcional de PLMN-GSM que se toma como base para el estudio de los aspectos relativos a la planificación de la transmisión. Además de las interfaces Um y POI ya conocidas, se definen otras dos, la interfaz PCM-Uniforme, UPCMI (Uniform PCM Interface) y la interfaz Z. La UPCMI esta situada dentro de la MS, donde la señal de voz esta codificada en PCM de modo uniforme con 13 bit por muestra. Como puede verse, la interfaz UPCMI separa el

tratamiento de audio en el teléfono de la transcodificación característica de GSM permitiendo distinguir las degradaciones debidas a ambos procesos. La interfaz Z se utiliza en el caso de conexiones directas MSC-MSC.

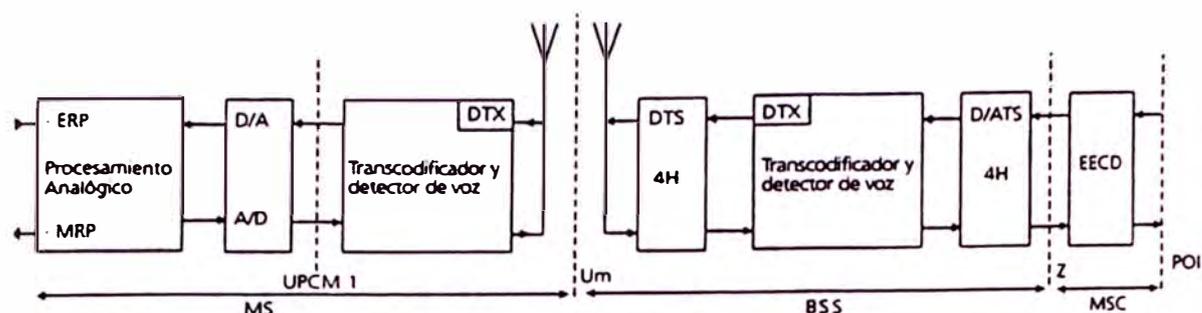


Fig. 13

Además de esas interfaces, son de destacar otros elementos de interés:

- 1) Los puntos de referencia de la MS, propios de todo terminal telefónico, punto de referencia boca, MRP (Mouth Reference Point) y punto de referencia oído. ERP (Ear Reference Point), que se utilizan para las especificaciones de sonoridad vocal.
- 2) La detección de voz, necesaria cuando se aplica la función de transmisión discontinua, DTX (Discontinuous Transmission), que se incorpora en el transcodificador de voz (convertidor de PCM a voz digitalizada a 13 kbit/s).
- 3) Los sistemas de transmisión a 4 hilos que, en general, serán de naturaleza digital (aun cuando el modelo prevé el uso de sistemas analógicos).
- 4) El dispositivo de control del eco eléctrico, EECD (Electrical Echo Control Device).

Sobre la base del modelo de la figura 14, se han definido en la Recomendación GSM 03.50 diferentes configuraciones para valorar los aspectos relativos al retardo y al

eco. De entre ellas citaremos aquí algunas de las de "tipo A" que representan conexiones nacionales o internacionales en las que no existen dispositivos de control de eco en la PSTN.

En la figura 14, se representa la configuración correspondiente a una llamada de teléfono móvil (red PLMN-GSM) a teléfono fijo (red PSTN).

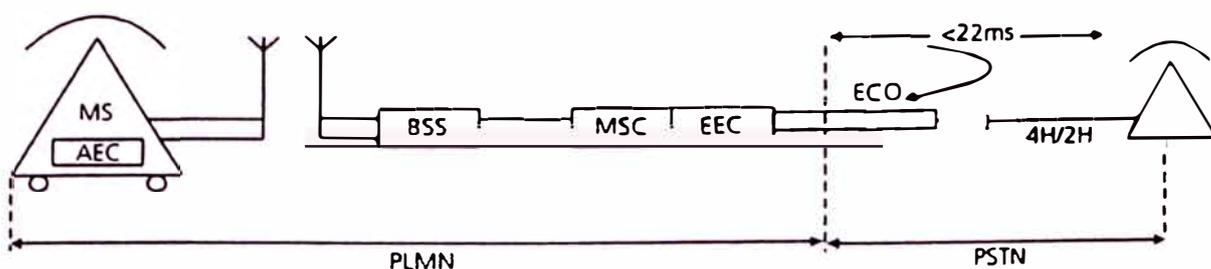


Fig. 14

Se observa que en la MS hay un dispositivo de control del eco acústico: AEC (Acoustic Echo Control) y que asociado al MSC está el elemento de control del eco eléctrico EEC (Electric Echo Control) que se coloca del lado de la PSTN. También se ha señalado el lugar de producción del eco eléctrico que es la interfaz de 4 a 2 hilos (4H/2H) de la PSTN.

En la figura 15 se ilustra la configuración para una llamada de PSTN a PLMN-GSM con reencaminamiento en el MSC a través de la PSTN. En este caso se inhabilitan los controladores de eco de las MSC interconectados por la PSTN a 4 hilos ya que en ese trayecto no existe eco.

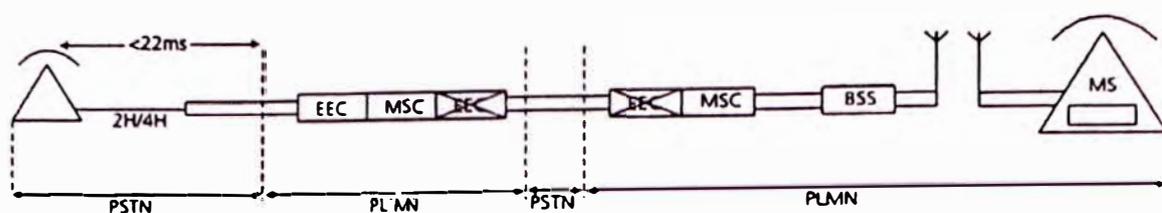


Fig. 15

2.4.2. Calidad de transmisión

La calidad de transmisión global de las conexiones en modo conversacional por la PLMN-GSM, es la resultante de los efectos combinados de:

- a) La parte de audio entre el MRP/ERP y la interfaz UPCMI
- b) La parte de transcodificación de la voz, incluidos los efectos de la transmisión radio y procesamiento de la voz entre la UPCMI y el POI
- c) Las características globales de la conexión entre el POI y el otro usuario

La calidad se especifica para los dos sentidos de la comunicación

- 1) En el sentido "ascendente", entre el MRP y el POI
- 2) En el sentido "descendente", entre el POI y el ER.

CAPÍTULO III

ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE INTERFACES Y PROTOCOLOS

3.1. SEÑALIZACIÓN EN LA RED GSM

3.1.1. Introducción

La red GSM, aún cuando es una red telefónica PLMN, frente a otras redes mas generales y extensas como la PSTN e ISDN, actúa como red de acceso y así funciona en caso de llamadas iniciadas / terminadas en esas redes. En consecuencia, la señalización GSM para el acceso a esas redes y tránsito por ellas debe acomodarse a los sistemas imperantes en las mismas.

En cuanto a la relación con el usuario, la señalización no ha estado sujeta a esos condicionantes de acceso y se ha establecido utilizando muchos procedimientos derivados de la ISDN. No obstante, surgen problemas derivados de la inexistencia de un enlace fijo usuario red, del carácter móvil de los abonados y de la variabilidad del canal radio móvil.

En consecuencia, en GSM se han establecido dos sistemas de señalización:

1) El propio de toda red telefónica, para el NSS. Se ha elegido el Sistema de Señalización N° 7 del UIT-T con diferentes "partes" o protocolos de alto nivel según las interfaces entre las distintas unidades funcionales.

2) Un sistema específico para el BSS y la interfaz Um entre BTS y MS, que Sustenta las funciones propias de la movilidad.

En el primer caso, se emplea la parte aplicación móvil, MAP (Mobile Application Part) entre las unidades propias del NSS de GSM, y las partes usuario de ISDN, ISUP (ISDN User Part) y de telefonía, TUP (Telephone User Part) para los interfuncionamientos con la ISDN Y PSTN, respectivamente.

Además de la MAP, se han definido para GSM, para los niveles altos otras partes de aplicación:

Parte aplicación de BSS. BSSAP (Base Station System Application Part)

Parte aplicación de operaciones y mantenimiento de la BSS. BSSOMAP (Base Station System Operation and Maintenance Application Part)

· Parte aplicación de transferencia directa, DTAP (Direct Transier Application Part)

En el segundo caso, el protocolo de señalización guarda cierta relación con los niveles 1 a 3 del modelo OSI. Consta de la capa física, la capa de red, que utiliza los protocolos LAPD hacia la red y LAPDm hacia la interfaz radio y la capa de enlace que se subdivide en tres, las cuales realizan funciones de:

. Gestión de las llamadas, CM (Call Management)

. Gestión de la movilidad, MM (Mobility Management)

. Gestión de los recursos de radio, RR (Radio Resources management).

En la figura 16, se representa la arquitectura de red GSM junto con los protocolos de señalización utilizados.

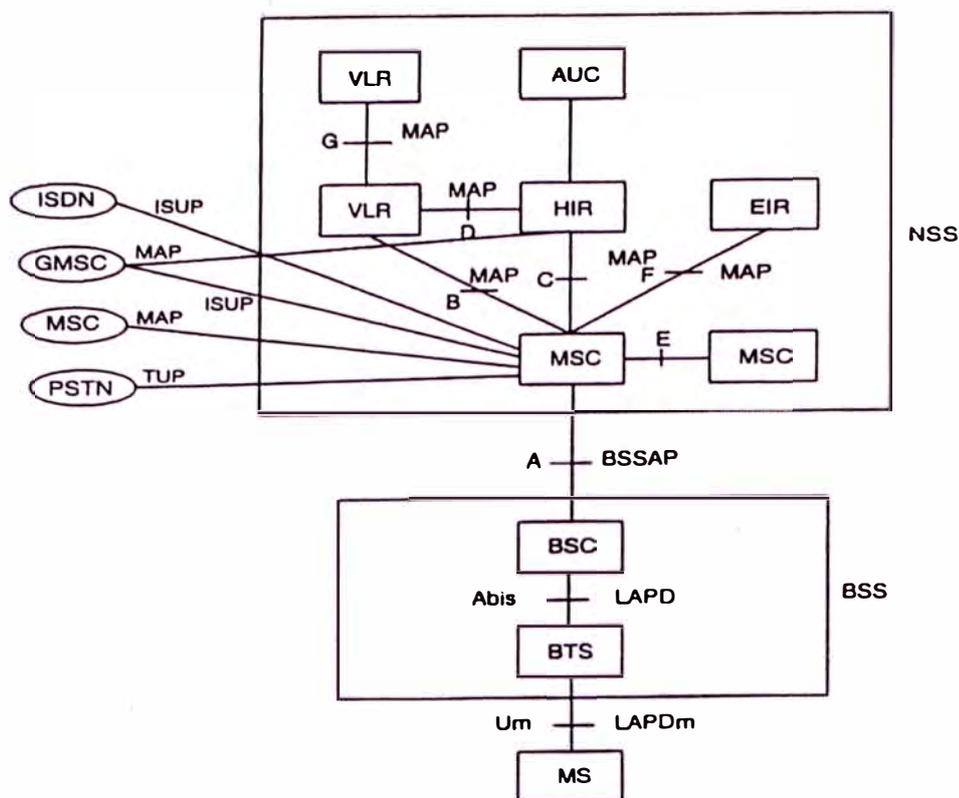


Fig. 16

3.1.2. Señalización de red

En la red GSM se ha identificado un conjunto de relaciones de señalización entre las diferentes unidades funcionales, que se atienden con la aplicación del SS7 acrecentado en la parte aplicación móvil MAP. El intercambio de información de señalización entre las entidades del NSS se realiza a través de nodos o puntos de señalización, SP (Signalling Point) que son acometidas a la red SS7.

También el subsistema OSS (Operations Sub-System) que debe dar órdenes a equipos de la NSS y recibir informaciones de ellos ha de conectarse, para señalización, con el NSS.

Como en todo sistema de señalización, los mensajes pueden ir de un nodo terminal a otro, o discurrir a través de nodos retransmisores intermedios ("relayers") en caso de circuitos largos. En estos nodos intermedios puede haber cambios de formato y se puede elegir el encaminamiento.

En la figura 17, se representa con algo más de detalle el modelo de señalización de red para GSM.

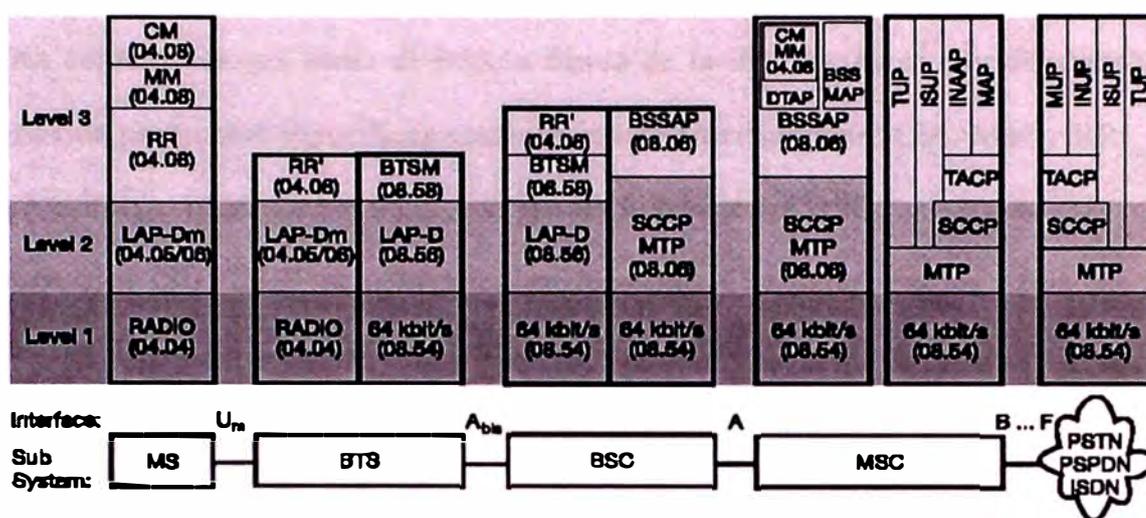


Fig. 17

Comenzaremos su descripción por el MSC. Este centro de conmutación tiene una triple frontera:

- 1) Hacia las redes PSTN e ISDN
- 2) Hacia los registros y bases de datos de la red PLMN-GSM
- 3) Hacia el BSS y el entorno móvil.

Para cada uno de los casos anteriores ha sido necesario diseñar subsistemas de señalización específicos.

Para el establecimiento y supervisión de las llamadas hacia/desde las PSTN e ISDN, se emplean, respectivamente, los protocolos TUP e ISUP del SS7 de esas redes.

Para los mensajes de señalización con las entidades HLR, VLR, otras MSC. etc. propias de la red GSM, se usa el protocolo MAP desarrollado específicamente para GSM y que está apoyado por la TCAP, que proporciona funciones para la comunicación con el extremo remoto de una cadena de señalización y para el establecimiento de múltiples diálogos.

Para las comunicaciones hacia el BSS, a través de la interfaz A, se han diseñado subcapas de protocolos específicas como se indicó anteriormente: CM, MM y RR. Las dos primeras residen en el MSC y la tercera lo hace en el BSC.

Los mensajes ISUP/TUP se convierten en mensajes CM para pasarlos hacia los móviles. El diseño de la subcapa de CM se ha realizado teniendo presente el entorno móvil al que van dirigidos los mensajes y, en particular, la técnica de multiacceso utilizada. De forma análoga, los mensajes de señalización de MAP se convierten en mensajes MM.

En el BSC se da una situación parecida a la del MSC. Hay dos fronteras, hacia el MSC y hacia la BTS. Para las comunicaciones por la primera y por la segunda se utilizan los protocolos BSSAP y LAPD, respectivamente. La BSSAP tiene a su cargo la transferencia de los mensajes CM y MM, así como el control directo del BSS, por ejemplo, cuando el MSC ordena al BSC la asignación de un canal. La BSSAP se divide en dos partes: DTAP y BSSMAP. La primera se encarga de la transferencia de mensajes de capa 3 entre la MS y el MSC, sin intervención del BSC. La segunda se ocupa del tratamiento de los recursos de radio en el BSS.

Para los mensajes de señalización hacia el MSC se utilizan los servicios de la MPT que, como es sabido, se encarga de la transmisión fiable y segura de los mensajes de señalización. Se complementa con la SCCP para disponer de funciones adicionales para el establecimiento de conexiones lógicas y para direccionamiento y encaminamiento ampliados, puesto que las llamadas podrán tomar rutas por la PLMN-GSM, la PSTN o la ISDN.

Hacia el lado de la BTS, el BSC utiliza el protocolo de gestión de recursos RR, el de gestión de la BTS, BTSM (BTS Management) Y, en la capa 2, el LAPD (Link Access Procedure on D - channel). Este es un protocolo de ISDN que realiza, entre otras, funciones de detección/corrección de errores y delimitación/secuenciación de tramas.

En la BTS también hay una división funcional de protocolos. Los que se utilizan a través de la interfaz A-bis, hacia el BSC concuerdan con los homólogos de esta unidad. Los que se emplean para la señalización en la interfaz Um con la MS, están diseñados para el entorno radio. Tales protocolos son el RR' y el LAPDm.

En capa 3, la mayoría de los mensajes RR atraviesan la BTS de forma transparente, es decir se intercambian entre la MS y el BSC/MSC sin ser analizados por la BTS. Sin embargo, hay otros mensajes que deben ser tratados por la entidad de gestión BTSM de la BTS, por lo que esos mensajes RR se convierten en otros RR'. En la capa 2, el protocolo usado es el LAPDm, variante del LAPD para su uso en la interfaz radio Um. Dos diferencias significativas entre LAPD y LAPDm son: 1) En LAPDm se detrae la función de detección/corrección de errores que desciende a la capa física. 2) Los mensajes del protocolo LAPDm son más cortos que en LAPD, ya que deben adaptarse a las ráfagas o paquetes de bits utilizados en el acceso radio.

La capa física de la interfaz A esta constituida por enlaces digitales PCM a 2 Mbit/s (32x64 kbit/s) según la Recomendación UIT-T G.705. La codificación de canal sigue la ley A de la Rec.UIT-T G.711.

En la figura 18, se ilustran las relaciones de señalización entre la red SS7 de GSM y las redes telefónicas PSTN-ISDN para el establecimiento de una llamada procedente de la red fija con destino a un móvil. La llamada se encamina a la central de salida de la red fija FE (Fixed Exchange) y de ahí al HLR, ya sea directamente (si la red fija admite esa posibilidad) ó a través del centro pasarela GMSC asociada a ese HLR. El HLR otorga a la llamada el número de tránsito MSRN que previamente ha obtenido del VLR asociado al MSC visitado por la MS. Con el MSRN, la llamada progresa hasta el MSC que controla la zona donde está el móvil y se difunde por las BSS del área de localización en la que se registró por última vez la MS. Como se observa, los mensajes de señalización se intercambian entre puntos de señalización SP y atraviesan diferentes interfaces. Se ve también que hay mensajes internos en cada plano de señalización y otros que van de un plano a otro.

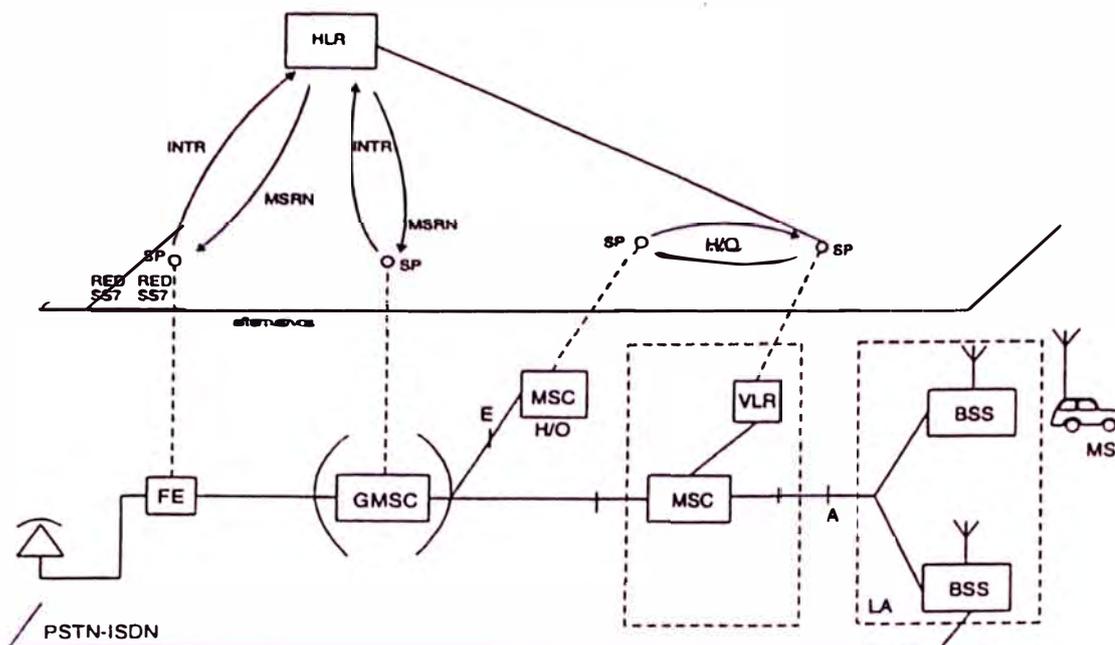


Fig. 18

3.1.3. Protocolos de señalización en la interfaz radio

La interfaz radio, Um, es una de las componentes específicas y de mayor relieve en GSM.

Sus objetivos básicos son:

- 1) Proporcionar un acceso estándar para los diferentes tipos de estaciones móviles
- 2) Permitir una evolución "libre" de los equipos móviles y de la red en tecnologías y configuraciones sin ataduras mutuas
- 3) Posibilitar que las llamadas se realicen a un número único, con independencia de la ubicación del terminal
- 4) Asegurar una elevada calidad de fidelidad de las señales de voz y datos

5) Flexibilidad de operación, que permita al usuario la elección por cada llamada o globalmente, de parámetros de la comunicación tales como velocidad de información, tipo de conmutación (circuito, paquete).

Los protocolos de la interfaz Um se han especificado siguiendo el modelo de referencia

OSI y definen estructuras de canales y señalización así como las funciones de gestión de movilidad y recursos físicos. Se han establecido tres capas de protocolos, como se muestra en la figura 19.

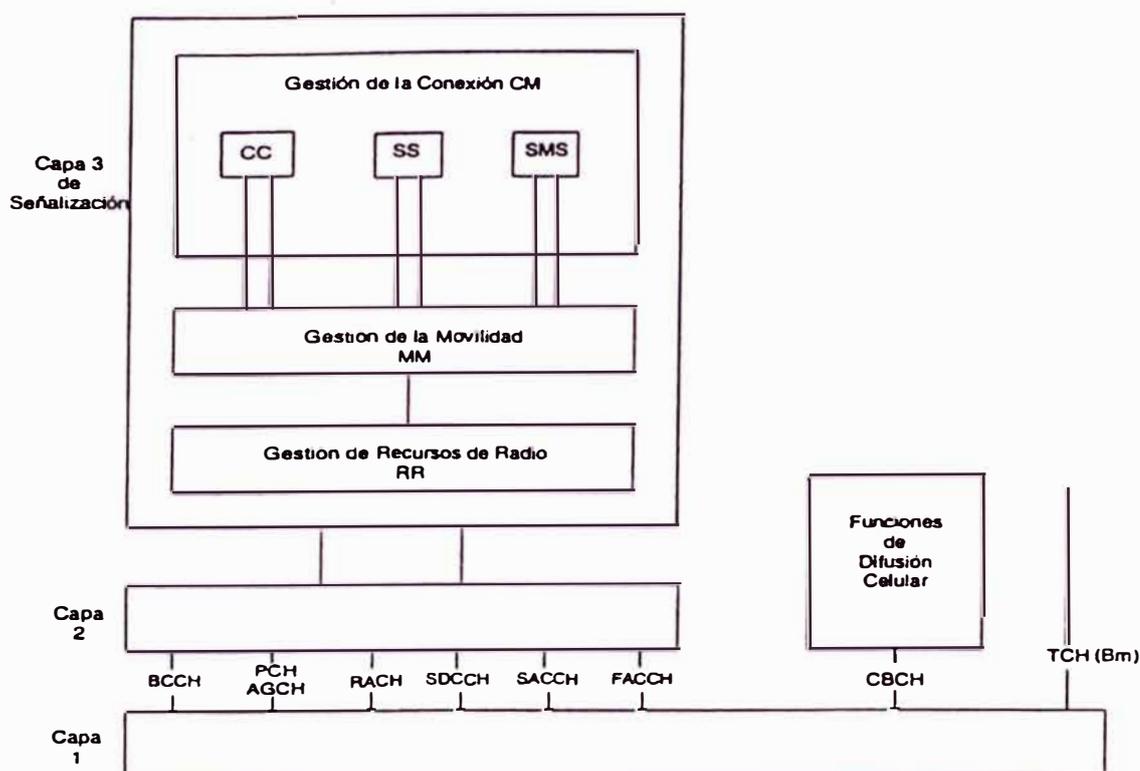


Fig. 19

La capa física contiene las funciones necesarias para la transferencia de trenes de bits sobre los canales físicos radioeléctricos.

Como veremos más adelante, en GSM se utilizan para el acceso radio, dos portadoras radioeléctricas para los enlaces ascendente (MS --> BTS) y descendente (BTS --> MS), respectivamente. Al conjunto de las dos portadoras suele llamársele radió canal. Cada radió canal es compartido por varios usuarios, mediante la técnica de acceso múltiple por división de tiempo, TDMA (Time división Múltiple Access).

La capa física está organizada en canales lógicos y canales físicos. Los canales Lógicos son estructuras de datos y protocolos que realizan funciones de intercambio de información necesaria para:

- Seguimiento de los móviles y aviso a éstos
- Establecimiento de las llamadas
- Mantenimiento de la comunicación
- Supervisión y control de la calidad

Los canales Lógicos se clasifican en dos grandes grupos:

- a) Canales de comunicación
- b) Canales de control

Los canales de comunicación comprenden las estructuras necesarias para sustentar las llamadas establecidas y su señalización asociada y se dividen en:

- Canales de tráfico. TCH (Traffic CHannels), por los que se intercambian las informaciones de los usuarios (voz y datos). Los hay de dos clases de velocidad total, TCH/F ("Full rate") y de velocidad mitad, TCH/H ("Half rate"). Con terminología ISDN, se designan, también, mediante Bm y Lm, respectivamente.

- Canales de señalización asociada, ACCH (Associated Control CHannel), que van siempre unidos a un TCH y se utilizan para la supervisión y el control de la llamada en curso. Se subdividen en dos: canales lentos, SACCH (Slow Associated Control CHannel) y rápidos, FACCH (FastAssociated Control CHannel). que se utilizan en función de la urgencia de los mensajes de señalización.

Los canales de control se emplean para señalización, aunque por ellos se prestan también servicios de difusión de mensajes. Se clasifican como sigue:

- Canales de difusión (sentido descendente, BTS hacia móviles), BCH (Broadcasting CHannels). Se usan para difusión de información general de la red, por ejemplo identificación de las estaciones base y ayuda a la sincronización de estaciones móviles. Su empleo no plantea problemas pues son de escucha para estas estaciones.
- Canales comunes. En sentido ascendente, se tiene el canal RACH (Random Access CHannel) que se utiliza para el acceso de las MS a la red. Como pueden plantearse situaciones de colisión de llamadas, debe regularse el acceso. En sentido descendente, se usan los canales: PCH (Paging CHannel) y AGCH (Access Grant CHannel) para aviso y concesión de recursos a los móviles. En este caso se enlazan, mediante un código de dirección, con un móvil concreto.
- Canales dedicados, SDCCH (Stand-alone Dedicated Control CHannel). Son canales bidireccionales que se asignan a un móvil de forma exclusiva, pero transitoria, durante el proceso de registro y en la fase de establecimiento de las

llamadas para intercambio de datos de identificación del móvil, número llamado, etc.

Para la difusión de mensajes desde una célula, se usa el canal de difusión, CBCH (Cell Broadcast CHannel) realizado como estructura independiente de los canales anteriores.

En la capa 1, los canales lógicos se ponen en correspondencia con los canales físicos del modo siguiente. Como se ha indicado, en GSM se utiliza multiacceso TDMA. En TDMA el tiempo se divide en segmentos iguales llamados intervalos ("timeslots" o "slots"). Un conjunto de 8 intervalos (numerados de 0 a 7) forma una trama ("frame"). Las tramas se repiten periódicamente. Un canal físico es un par: "radió canal - intervalo". La transmisión de información por los canales físicos es discontinua, en forma de ráfagas ("bursts") de bits alojadas en los intervalos de tiempo. En consecuencia, los recursos de la capa física son radió canales e intervalos de tiempo.

Además de las funciones descritas, la capa física incluye otras muy importantes, como son:

- Codificación de canal para la detección y corrección de errores de bits
- Cifrado de la información
- Selección de celda en modo desocupado
- Supervisión de la calidad de la comunicación.

La capa física hace interfaz con la gestión de recursos RR para intercambio de mensajes relativos a la asignación de canales físicos, así como informaciones del sistema (medidas, retardo temporal, etc.).

La capa 2 tiene por objeto el establecimiento de un enlace de señalización fiable y seguro entre la MS y la red. Se han diseñado entidades de protocolos específicos para los diferentes canales lógicos.

El protocolo básico de la capa 2 es el llamado LAPDm, basado en el LAPD de ISDN, pero con algunas modificaciones, como, por ejemplo, el control de errores que, como se ha visto, se pasa a la capa física. Otro cambio es la segmentación de la longitud. En efecto, un mensaje de LAPD puede tener hasta 249 octetos. En cambio por los canales lógicos GSM la longitud máxima es de 23 octetos.

En esta capa se realiza la multiplexación y demultiplexación de los diferentes tipos de canales lógicos.

La capa 3 se encarga de la señalización entre la MS y la red y, como ya se indicó se ha sub-dividido en tres subcapas: RR, MM y CM que describimos someramente:

1) Gestión de los recursos de radio: RR

La subcapa RR es responsable de proporcionar un enlace radio fiable entre la MS y la infraestructura de red. Ello incluye el establecimiento y la atribución de radio canales en la interfaz Um, así como la constitución de enlaces con el MSC a través de la interfaz A. Otras funciones importantes, son:

- Aviso a los móviles
- Establecimiento de un canal dedicado dentro de la misma célula
- Traspaso de una llamada de una célula a otra
- Redefinición de frecuencias, en caso de transmisión con saltos de frecuencia.

Los mensajes RR residen en el BSC del lado de red y se envían transparentemente a través de la BTS. A esta parte de la interfaz se le denomina RIL - 3 (Radio interfase Layer 3).

2) Gestión de la movilidad: MM

Esta capa supone una conexión RR fiable y se ocupa de las funciones propias de la movilidad de los usuarios como son la localización y el seguimiento. También se ocupa de la seguridad en el acceso. La gestión de la localización implica los procedimientos y señalización necesarios para la actualización de la localización y registro en el VLR y HLR. La seguridad exige la autenticación del móvil para evitar el acceso a la red de usuarios no autorizados y la asignación de identidades ficticias temporales. Los protocolos de la subcapa MM afectan al SIM de la MS, al MSC, VLR, HLC y centro de autenticación AUC.

3) Gestión de la conexión: CM

Se ocupa de los procesos relativos al establecimiento Y control de las llamadas y servicios suplementarios asociados. Consta de tres entidades:

- a) Control de la llamada, CC (Call Control), que proporciona funciones y procedimientos para llamadas móviles ISDN, como por ejemplo, modificación del servicio en el curso de la llamada, o cambio voz a datos. Comprende también funciones propias de algunos servicios suplementarios, como la señalización usuario-usuario.
- b) Entidad de sustentación de servicios suplementarios. SS (Supplementary Services), que se ocupa del tratamiento de los servicios suplementarios de carácter general (no vinculados a una llamada concreta) como, por ejemplo, llamada en espera, reencaminamiento en ausencia de respuesta, etc.

c) Entidad de sustentación del servicio de mensajes cortos, SMS (Short Message Service), que proporciona los protocolos para la transferencia de mensajes alfanuméricos breves entre la red y una MS.

En la figura 20, se esquematiza el transito, a través de la interfaz Um, de los mensajes que se intercambian entre la MS y las diferentes unidades funcionales.

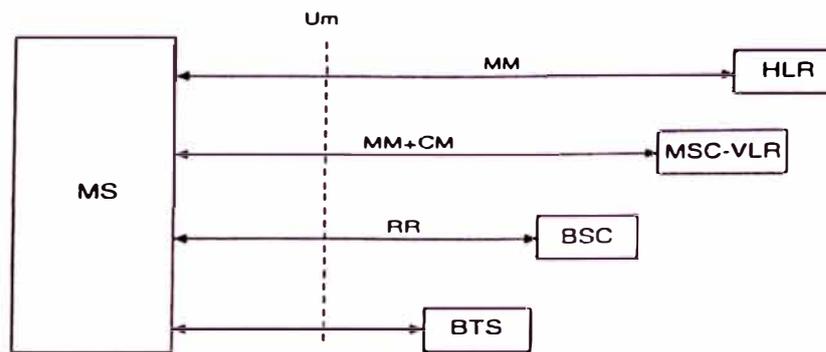


Fig. 20

En la figura 21 se representa el transito de los mensajes de señalización a través de las diferentes unidades funcionales de GSM.

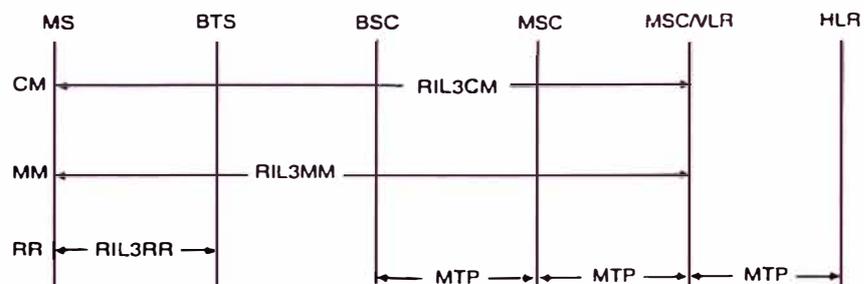


Fig. 21

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS DE CARACTERÍSTICAS DE LA INTERFASE DEL AIRE

4.1. BANDAS DE FRECUENCIAS: CANALIZACIÓN Y COORDINACIÓN

En radiotelefonía móvil los enlaces radio son duplex y, en general, emplean dos frecuencias portadoras distintas, una para el enlace móvil-base o enlace ascendente, UL (uplink), y otra para el enlace base-móvil o enlace descendente, DL (downlink). Esta pareja de frecuencias suele llamarse radió canal. A esta modalidad de explotación se le denomina duplex por división de frecuencia, FDD (Frequency división Duplex). Los radió canales se asignan a partir de una banda de frecuencias, constituida por dos sub-bandas, con una separación determinada (figura 22)

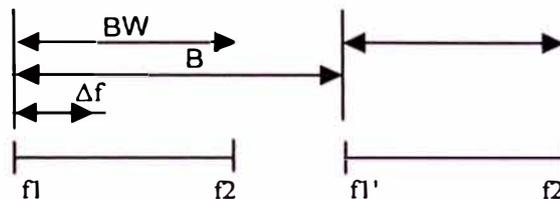


Fig. 22

Los parámetros de la banda son:

- Límites de las sub-bandas: (f_1, f_2) ; (f_1', f_2')
- Anchura de las sub-bandas: BW

Separación entre frecuencias homologas: B

Paso de canalización: Δf

El numero teórico de radió canales (de dos frecuencias) disponibles es:

$$N = BW/\Delta f$$

A veces se deja un margen sin utilizar en los bordes de la banda para reducir interferencias con otros servicios radioeléctricos que operan en bandas adyacentes, con lo cual el numero útil de radió canales pasa a ser $N-1$. En la práctica, se numeran los radió canales de forma correlativa y se les representa por un numero entero n , lo que abrevia su designación.

Las frecuencias f_1 de la mitad inferior de la banda son funciones de n :

$$f_n = f_1 + \Delta f * n$$

y sus homólogos de la mitad superior se obtienen sumando la separación B:

$$f_n' = f_1' + B$$

Para la explotación del sistema GSM se reservó una banda de frecuencias común en toda Europa, constituida por dos sub-bandas:

Inferior:

890-915 MHz: Transmisión MS- Recepción BTS (UL).

Superior:

935-960 MHz: Transmisión BTS- Recepción MS (DL).

con una separación de canales $\Delta f = 200$ KHz.

A esta banda se le denomina banda GSM primaria (P-GSM900)

En general el UL es la parte más débil del sistema, debido a la limitación de potencia máxima que tienen los móviles. La practica totalidad de los terminales móviles existentes en el mercado son clase 4 (2W de potencia máxima de transmisión), frente

a los de 100 a 1000W de PRA máxima que sería capaz de transmitir una estación base. Por esto es especialmente conveniente el haber reservado la parte baja del espectro para el UL, dado que de esta forma se "favorece" al móvil con unas menores pérdidas de propagación.

Para facilitar la compartición de frecuencias con servicios de Radiocomunicaciones que utilicen bandas de frecuencias adyacentes se han previsto dos bandas de guarda entre los extremos de las sub-bandas anteriores y las portadoras primera y última. Esto es, en la sub banda inferior, por ejemplo, la primera y última portadoras asignables son 890,2 MHz y 914,8 MHz, respectivamente. Resultan de esta forma 124 radió canales disponibles.

Cada radió canal se designa mediante un número entero denominado número absoluto de canal RF, ARFCN (Absolute Radiofrequency Channel Number). La diferencia entre una frecuencia y su homóloga es igual a 45 MHz para facilitar la generación de ambas en los transceptores. Por consiguiente, la expresión de las frecuencias centrales de los radió canales en función del ARFCN en la banda P-GSM 900 es:

$$F_l(n) = 890 + 0,2 * n$$

$$F_u(n) = F_l(n) + 45 \quad 7 \quad n \quad 724$$

En algunos países europeos se ha saturado la banda primaria GSM, por lo que ha sido necesario habilitar una nueva banda llamada de ampliación (E-GSM 900), constituida también por dos sub-bandas:

Inferior (UL): 880-890 MHz Transmisión MS- Recepción BTS (UL)

Superior (DL): 925-935 MHz Transmisión BTS- Recepción MS (DL)

En posteriores especificaciones se definió una segunda banda de frecuencias en 1800 MHz. En este caso el UL ocupa la sub-banda de 1710-1785 MHz, y el DL la sub-banda de 1805-1880 MHz. Al sistema que utiliza estas bandas de frecuencias se le denomina GSM1800, y la Única diferencia entre GSM900 y GSM1800 la constituye precisamente esta diferente ubicación espectral. Todo lo referente a canalización, estructura de la trama TDMA, modulación, protocolos de señalización, etc. se mantiene exactamente igual para ambos sistemas. Esto permite la compatibilidad total entre ellos, de forma que un terminal móvil "dual" pueda funcionar solo en GSM900, solo en GSM1800 o de forma dual entre ambos sistemas, pudiendo hacer traspaso de una celda GSM900 a una GSM1800 o viceversa, de forma totalmente transparente para el usuario y casi transparente para la red.

La banda reservada para GSM1800 es tres veces mayor que para GSM900 (25 MHz GSM900, 75 MHz GSM 1800), lo que hace que, generalmente, el número permitido de operadores en GSM1800 sea mayor que el de operadores en GSM900. Pueden distinguirse tres tipos de móviles atendiendo a la banda de frecuencias en que funcionan: móviles GSM900, móviles GSM1800 y móviles duales. En cualquiera de los tres casos deben ser capaces de operar en toda su banda de funcionamiento para permitir así la itinerancia (roaming) entre operadores.

La banda disponible tanto para GSM900 como para GSM1800 está dividida en intervalos de frecuencia siguiendo la filosofía FDMA. Como ya se ha indicado, cada uno de estos intervalos tiene una anchura de banda de 200 kHz, de forma que hay 124 y 372 canales disponibles para GSM900 y GSM1800 respectivamente.

4.2. MULTIACCESO TDMA

4.2. 1. Intervalos y tramas temporales

La interfaz radio GSM utiliza un método de acceso múltiple que combina por un lado el acceso por división en frecuencia (FDMA/FDD), canalizando para ello la banda tal como se ha descrito en el apartado anterior, con el acceso por división en el tiempo (TDMA). Para ello, se divide el eje temporal en tramas, subdivididas cada una de ellas en 8 intervalos de tiempo, TS (time-slots). De esta forma, se proporcionan 8 canales físicos sobre cada radió canal. Por lo tanto un canal GSM unidireccional viene dado por un intervalo de frecuencia de 200 KHz de anchura de banda y un intervalo de tiempo que ocupa una posición determinada dentro de la trama. La duración temporal de un TS es de 0,577 ms. Si se representan los recursos físicos disponibles en un plano en el que un eje es el tiempo y otro eje es la frecuencia, como en la figura 23, la zona sombreada indica lo que ocupa un canal unidireccional GSM.

Un canal físico bidireccional GSM entre una BTS determinada y el móvil vendrá, por lo tanto, definido de forma unívoca a través de la frecuencia del radió canal que este utilizándose y el número de TS asignado a esta comunicación dentro de la trama temporal soportada por ese radió canal.

La trama temporal GSM, como ya se ha indicado, comprende 8 TS, por lo que su duración es $8 * 0,577 = 4,625$ ms. Cada TS tiene una duración de 156,25 periodos de bit. Los TS se numeran de 0 a 7, y las tramas TDMA se numeran mediante un número de trama cíclico y con un rango desde 0 a FN_MAX, siendo $FN_MAX = 26 * 51 * 2.048 - 1 = 2.715.647$ tal y como se define en la recomendación GSM 05.10. Este número se incrementa al final de cada trama TDMA.

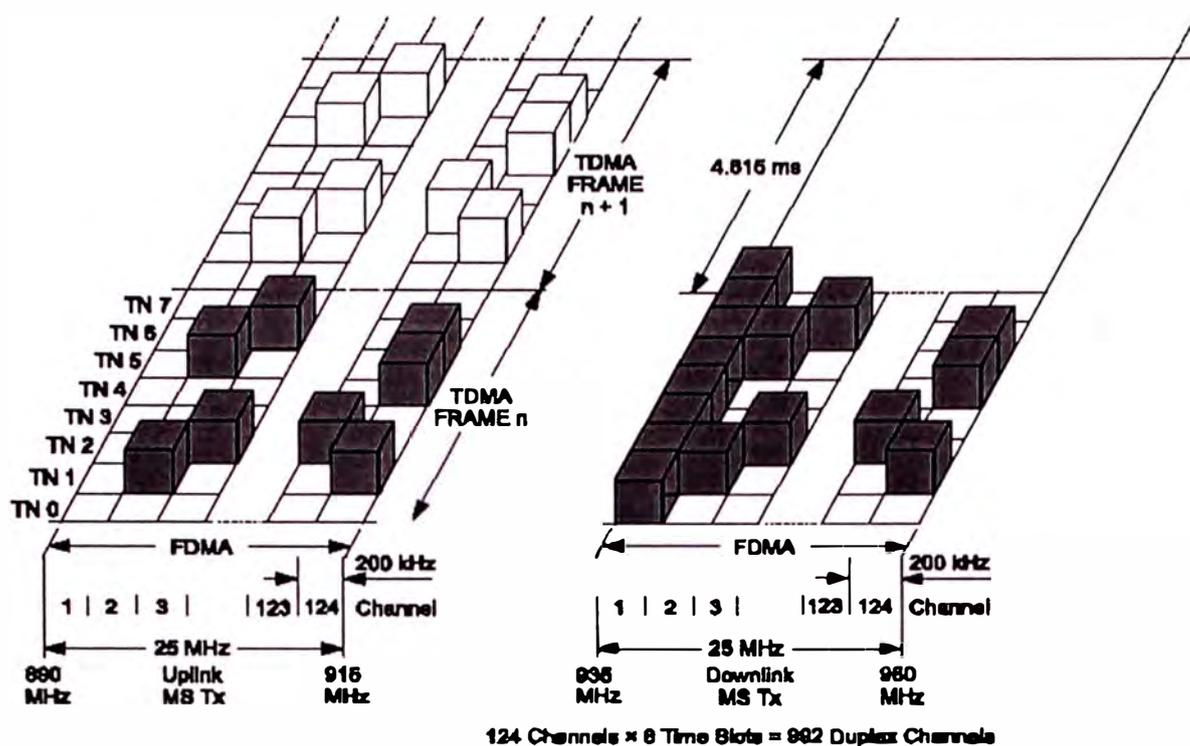


Fig. 23

Se han establecido las siguientes estructuras jerárquicas superiores a la trama:

- multitrama, constituida por 26 o 51 tramas
- supertrama, formada por 26x51 tramas
- hipertrama, que comprende 2048 supertramas

Cada hipertrama abarca un ciclo completo de tramas TDMA. Las estructuras de multitrama y supertrama se utilizan para la constitución de los diferentes canales físicos utilizados en GSM, como se verá más adelante.

En una BTS las tramas TDMA de todos los canales de radiofrecuencia en el DL deben estar perfectamente alineadas. Y lo mismo ocurre con las tramas en el UL.

Por otra parte, en una BTS el comienzo de una trama TDMA en el UL se retrasa 3 TS respecto al principio de la trama TDMA en el DL, como se ve en la figura 24.

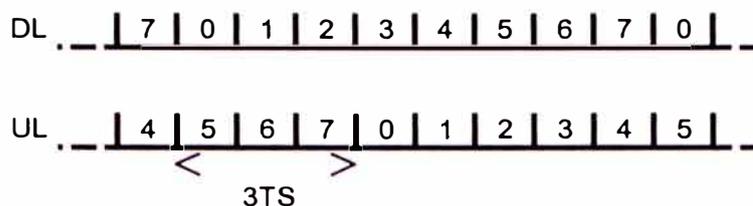


Fig. 24

En el móvil este desplazamiento es variable para permitir así ajustarse al retardo debido a la propagación de la señal, de tal forma que la transmisión del comienzo de la trama UL llegue a la estación base exactamente 3 TS después del comienzo de la trama.

El retardar el UL respecto al DL responde a la conveniencia de utilizar simultáneamente el mismo número de TS en el UL y el DL, evitando que el móvil tenga que transmitir y recibir a la vez. De este modo, se evita tener que utilizar un duplexor en el móvil, con la consiguiente reducción de tamaño. Este periodo incluye el tiempo suficiente para que el móvil pueda realizar la alineación temporal adaptativa, la sintonización del transceptor y la conmutación entre recepción y transmisión.

4.2.2. Sincronización

Para que el sistema de acceso múltiple TDMA funcione correctamente es preciso establecer procedimientos de sincronización entre los móviles y las estaciones base. El hecho de que los terminales sean móviles añade una complicación ya que se

desconoce, a priori, la situación relativa del móvil respecto a la estación base. Como se indican más adelante, es la estación base quien evalúa la distancia a que se encuentra un terminal móvil y le indica al mismo el retardo con que debe transmitir para evitar que se produzcan solapamientos entre emisiones procedentes de diferentes móviles (colisiones debidas al efecto cerca-lejos).

Pueden distinguirse distintos aspectos en el proceso de sincronización:

1. Sincronización del reloj de la estación móvil con el de la estación base.

Todas las estaciones base de la red deben utilizar el mismo reloj, de forma que un móvil “enganchado” a una estación base sea capaz de escuchar los mensajes necesarios de la estaciones circundantes que le permitirán efectuar una reselección de celda (si esta desocupado) o un traspaso a otra celda (si tiene una llamada en curso).

2. Alineación temporal de móvil con la estación base.

Una vez sincronizado el reloj del móvil con el de la estación base, es necesario que el móvil conozca con total exactitud el momento en que se encuentra dentro de la estructura de TS, trama, multitrama de canales de tráfico y multitrama de canales de control. Como se describirá en detalle más adelante, dentro de la estructura de una hipertrama discurren en paralelo dos ciclos de multitramas diferentes: la de tráfico, que comprende 26 tramas, y la de señalización, que comprende 51 tramas. De este modo, una trama dada ocupa una posición determinada dentro del ciclo de multitramas de tráfico y otra dentro del de multitramas de señalización.

Para permitir al móvil determinar con total exactitud la posición en que se encuentra dentro de los dos ciclos de multitramas, la BTS le envía señales correctoras (ráfagas

de sincronización) por el canal SCH. Este canal se transmite en el TS 0 de la portadora utilizada como BCCH (portadora "baliza"(beacon)). Este TS es el canal físico a través del que se envía toda la información que permite a los móviles reconocer la señal radiada como una portadora GSM, con los parámetros necesarios para identificar la celda y para determinar el comportamiento de los móviles enganchados a dicha celda durante los periodos de tiempo en los cuales no tienen una comunicación en curso.

Las estaciones base no están alineadas temporalmente entre si, es decir, en un momento concreto, no tienen por que encontrarse en la misma posición dentro de la hipertrama temporal. Por esto es necesaria la información de sincronización, para conocer la situación dentro del eje temporal en que se encuentra cada estación base concreta. En cambio, cuando en un mismo sector se utiliza más de un equipo transceptor (TRX), esto es, más de una portadora, todas ellas deben compartir la alineación temporal. El error de sincronización máximo permitido entre portadoras en la antena de la BTS es de 1/4 de bit.

3. Compensación de la distancia entre el móvil y la estación base

Como en el enlace ascendente el multiacceso es TDMA, para evitar colisiones entre las ráfagas de bits que llegan a la BTS procedentes de diferentes estaciones móviles, MS (Mobile Station) es necesario que estas hagan sus emisiones de forma sincronizada según acabamos de ver. Además, dado que las MS pueden estar a diferentes distancias de la BTS, los tiempos de propagación de las ráfagas son también distintos. Una MS alejada, debe transmitir sus ráfagas un poco antes del instante teórico, para compensar el mayor retardo de propagación. Esta antelación se

denomina avance o alineación temporal, TA (Timing Advance). Durante las llamadas, el BSC mide el tiempo de propagación desde la MS y evalúa el TA, enviándolo a la MS para que avance sus transmisiones subsiguientes. El procedimiento para determinarlo está dirigido por la estación base, y se explica a continuación:

Cuando el móvil necesita acceder a una estación base, bien para señalizar en ella, bien para hacer un handover a ella, a priori no sabe a que distancia se encuentra de dicha celda, por lo que lo que hace es enviar una ráfaga muy corta con un timing advance 0, para evitar interferir a otros móviles que se encuentren más próximos a la estación invadiendo su timeslot. Esa ráfaga se envía en una posición determinada dentro de la trama (t_0 respecto al inicio de la trama). Debido al retardo de propagación, el móvil recibe la señal correspondiente al inicio de la trama T_r segundos después de que la haya transmitido la estación base, y como envía su ráfaga t_0 segundos después de haber recibido el inicio de trama, esa ráfaga la recibe la estación base $t_0 + 2 T_r$ segundos después del inicio real de la trama (t_0 englobarla el retardo existente entre uplink y downlink + el retardo entre el momento en que se envía la ráfaga y el inicio de la trama, que es diferente en el caso de acceso a una celda para iniciar una llamada que en el del handover). Por lo tanto, la estación base puede determinar perfectamente el retardo de propagación (o lo que es lo mismo, la distancia a que se encuentra el móvil) a partir del momento de recepción de esa ráfaga de acceso. Entonces la estación base transmite al móvil el timing advance con que debe transmitir ($TA=2T_r$), de forma que a partir de ese momento el móvil transmitirá $468,75$ (los 3 intervalos temporales de diferencia entre uplink y downlink que se han comentado previamente)-TA periodos de bit después de haber recibido la

transmisión de la BTS. De esta forma la transmisión del móvil llegara a la estación base exactamente 3 TS después de la transmisión de la BTS.

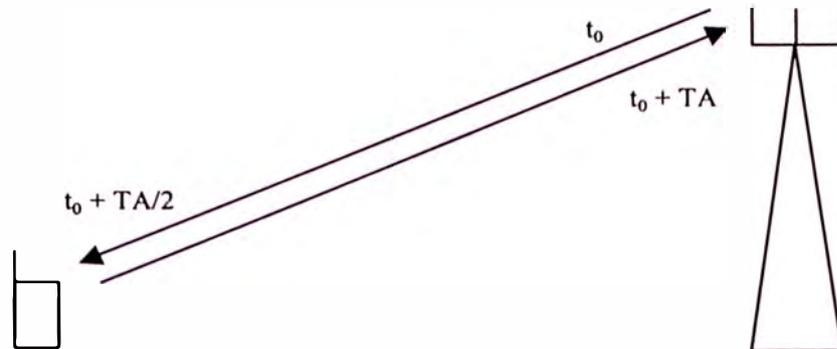


Fig. 25

4.3. SISTEMA DE MODULACIÓN

Los sistemas de modulación empleados en comunicaciones móviles dependen de la técnica de acceso empleada.

4.3.1. Modulación GMSK

Para el sistema GSM, se optó por una modulación angular basada en la FSK.

Específicamente, se eligió, una variante de la modulación MSK, que es un caso particular de la FSK en el cual el índice de modulación es 0,5. Se procedió así por la facilidad de generación de la señal modulada, ya que la MSK tiene envolvente constante y puede obtenerse mediante modulación de fase, con lo que se simplifica el diseño hardware del modulador.

Sin embargo, la MSK produce una señal modulada con bastante energía en los canales adyacentes, por lo que no se cumpliría la condición anterior, que es muy

importante para las comunicaciones móviles. Por este motivo, se suavizan las excursiones de fase, sometiendo la señal digital moduladora a un filtrado previo, con un filtro gaussiano.

Al sistema de modulación resultante se le llama GMSK (Gaussian Minimum Shift Keying) y es el utilizado en GSM. El prefiltrado aminora, en efecto, la radiación en los canales adyacentes, pero a costa de cierta interferencia entre símbolos y una disminución del nivel de la señal, lo cual debe compensarse en la recepción.

4.3.2. Proceso de desmodulación

La serial recibida por la antena receptora será diferente a la transmitida. Estas diferencias pueden deberse a factores tales como:

- atenuación variable de la señal, producida por las pérdidas de espacio libre en el trayecto entre transmisor y receptor y por las interacciones con los obstáculos existentes en el camino.
- efecto de la propagación multitrayecto, que hace que lleguen a la recepción varias copias de la señal origen debidas a reflexiones / dispersiones
- presencia de perturbaciones (ruido e interferencia), debidas a emisiones de transmisores de la misma u otras redes que transmiten a la misma frecuencia o en frecuencias adyacentes, así como al ruido industrial.

El demodulador debe estimar la secuencia más probable de datos procedentes de la modulación, proporcionando una primera versión de la señal recibida distorsionada. Para ayudar al demodulador a desarrollar esta función, se usa un patrón de referencia procedente de la modulación de una secuencia determinada que el receptor conoce (secuencia de entrenamiento). Esta secuencia permite al receptor estimar la

distorsión de la señal debida a la propagación, en particular en lo que concierne al multitrayecto.

Existen numerosos algoritmos de desmodulación. Las especificaciones GSM no imponen uno u otro algoritmo, pero si una representación global de las medidas después de la corrección de los errores por el canal decodificado. Estas medidas tendrán en cuenta una serie de condiciones relativas a las condiciones ambientales de transmisión, velocidad de transmisión, etc.

El algoritmo de desmodulación usado en GSM emplea el ecualizador como técnica auxiliar para conseguir un nivel de interferencia entre símbolos aceptable. El ecualizador empleado usa el algoritmo de Viterbi. La desmodulación de Viterbi permite encontrar las secuencias emitidas más probables, teniendo en cuenta consideraciones de interferencias y estadísticas de ruido.

4.3.3. Tasa de errores

La calidad de funcionamiento de un sistema de transmisión digital depende fundamentalmente del sistema de modulación que se emplee. Y se expresa en términos de la tasa de bits erróneos, BER (Bit Error Rate).

Debe distinguirse entre calidad de portador y calidad final. La calidad final es la percibida por los usuarios y depende de la calidad de los procesos de conversión en los codificadores/decodificadores (codecs) de voz y de la calidad de la transmisión propiamente dicha. La calidad de los codecs de voz se evalúa mediante notas medias de opinión y como forman parte de los equipos no cabe ninguna actuación para variar su grado de calidad.

La calidad de portador se expresa mediante la BER, la cual puede estimarse mediante la probabilidad de error P_e , característica de cada sistema de modulación digital.

Mediante el modelado de canales y receptores pueden obtenerse, bien por procedimientos teóricos o por simulación, curvas y expresiones de P_e en función de la relación energía por bit densidad de ruido (E_b/N_o , dB) o de la relación portadora/interferencia (C/I) a la entrada del demodulador digital, para diferentes tipos e intensidades de perturbaciones. También influye en la probabilidad de error la anchura de banda de transmisión B_b , ya que si B_b es grande, aumenta la potencia de ruido que entra al receptor, lo que incrementa P_e . En cambio, si se reduce B_b , disminuye la potencia de ruido, pero entonces se generara interferencia entre símbolos (ISI) que, si no se ecualiza, puede producir un aumento de P_e , incluso mayor que el anterior.

Cabe entonces pensar que existirá un valor de B_b para el cual la probabilidad de error será mínima. Sin embargo, en la mayoría de las aplicaciones, es más importante el requisito de mantener reducida la anchura de banda de transmisión aceptando un incremento de P_e , que se compensará mediante ecualización o codificación con corrección de errores.

4.4. INTERFAZ RADIO EN GSM

4.4.1. Introducción

Toda la interfaz radio se enmarca dentro de la estructura del multiacceso TDMA, es de tipo jerárquico, con una organización que va desde el intervalo de tiempo (TS) a la hipertrama, pasando por las tramas, multitramas y supertramas. Recordemos que

se llama ráfaga a la secuencia de bits enviada en un intervalo de tiempo. Comenzaremos el estudio de la interfaz radio describiendo los diferentes tipos de ráfagas definidos en GSM para constituir, junto con su periodo de recurrencia, otros tantos canales físicos que soportan los distintos canales lógicos.

4.4.2. Tipos y formatos de ráfagas

Como ya se ha indicado, un TS está dividido en 156,25 periodos de bit. Un bit concreto dentro del TS se referencia a través de un número de bit, BN (Bit Number), numerándose éstos desde el 0 hasta el 156 (realmente éste corresponde al último 1/4 de bit del TS).

Como un TS dura $0,577\text{ms}$ ($120(\text{ms/multitrama MF26})/26(\text{tramas/MF26})$ (TS/trama)), la velocidad de transmisión en la interfaz radio será: $156,25/(120/(8*26)) = 270,833 \text{ kbit/s}$.

Una característica de las ráfagas es su duración útil. Hay cuatro tipos de ráfagas completas de 147 bits de duración útil: ráfagas de corrección de frecuencia, FB (Frequency correction Burst); ráfagas de sincronización, SB (Synchronization Burst); ráfagas de relleno, DB (Dummy Burst) y ráfaga normal, NB (Normal Burst); y una ráfaga corta de acceso, AB (Access Burst) de 87 bits de duración útil.

Las ráfagas están constituidas por un núcleo formado por bits de información y la secuencia de entrenamiento, rodeado de bits de cola ("tail bits"). El período comprendido entre dos ráfagas que aparecen en TS consecutivos de una trama se denomina periodo de guarda. Este periodo es necesario ya que el móvil no es capaz de incrementar y decrementar su potencia de salida de forma instantánea. En este periodo de guarda, el móvil puede completar sus rampas de subida y bajada de

potencia transmitida. Por otra parte, gracias a este período de guarda se minimizan las colisiones parciales que, a causa del efecto de los multitrayectos, podrían producirse entre las ráfagas que llegan a la estación base procedente de las estaciones móviles que utilizan los distintos intervalos de la misma portadora.

A.- Ráfagas de acceso

Son las ráfagas empleadas por el móvil para acceder a una estación base cuando demanda un canal de la misma. En consecuencia, se transmiten únicamente en el enlace ascendente, UL. La secuencia de entrenamiento y la secuencia de cola inicial son mas largas que en una ráfaga normal, para aumentar la probabilidad de éxito de la demodulación. Hay que tener en cuenta que el receptor no conoce "a priori" el nivel con el que va a llegar esta ráfaga ni el error de frecuencia, ni el momento de recepción, En la figura 26 se representa la estructura de las ráfagas de acceso.

Tbext(8)	SYN(41)	Información (36)	TB (3)	Gpext.(68,25)
	BN:	0.....7		Bits de cola extendidos (8)
		8.....48		Secuencia de sincronización (41)
		49.....84		Bits de informacion cifrados (36)
		85.....87		Bits de cola (3)
		88.....156,25		Bits del periodo de guarda extendido (68,25)

Fig. 26

La estación base utiliza el momento de recepción de la ráfaga de acceso para determinar la distancia a que se encuentra el móvil cuando intenta acceder a ella. Para asegurar la recepción de móviles alejados de la estación base. es preciso que el periodo de guarda sea mucho mayor que en una ráfaga normal, a fin de que a pesar del retardo de propagación a que se ve sometida esta ráfaga, siga llegando dentro del

intervalo de tiempo asignado a su TS. Por ello, la duración "útil" de este tipo de ráfagas es, necesariamente, mucho menor que la de una ráfaga normal.

B.- Ráfagas de corrección de frecuencia

Estas ráfagas únicamente se utilizan en el enlace descendente, DL. A través de estas ráfagas el móvil realiza un ajuste fino de la frecuencia de sintonía. Son ráfagas largas que permiten a los móviles encontrar y demodular una ráfaga SB de la misma celda. Es la ráfaga más simple de todas. Sus 148 bits toman el valor "0", de forma que, con la técnica de modulación empleada, la señal resultante es una portadora sin modular con frecuencia $1625/24$ Khz, mayor que la frecuencia nominal de la portadora utilizada.

C.- Ráfagas de sincronización

Estas ráfagas, utilizadas únicamente en el enlace descendente, tienen por finalidad posibilitar la sincronización del reloj de la estación móvil con el de la estación base y determinar la situación dentro de la trama temporal. De esta forma puede iniciarse el proceso de demodulación de la información transmitida en el enlace descendente. Por ello, la duración de la secuencia de entrenamiento es mayor que en las ráfagas normales. La secuencia de entrenamiento empleada en este tipo de ráfagas es única, ya que de otro modo el móvil no sería capaz de conocer a priori cual es la que se está utilizando.

La estructura de estas ráfagas es la siguiente (figura 27):

TB 3	Information (39)	Trainig sequence (64)	Information (39)	TB 3	GP(8,25)
BN		0.....2 3.....41 42.....105 106.....144 145.....147 148.....156,25	Bits de cola (3) Bits de informacion cifrados (39) Secuencia de entrenamiento extendida (64) Bits de informacion cifrados (39) Bits de cola (3) Periodo de guarda (8,25)		

Fig. 27

D.- Ráfagas de relleno

Son las ráfagas que se radian cuando no hay información que transmitir. La portadora que lleva la información de BCCH tiene que radiarse constantemente. Es la señal "piloto" que los móviles necesitan estar recibiendo constantemente para poder hacer medidas de potencia.

Cuando hay móviles ocupando canales de tráfico de esta portadora, en los TS físicos correspondientes a estos canales se estará transmitiendo información, utilizándose para ello el formato de las ráfagas normales. Pero en aquellos TS de esta portadora que no estén siendo utilizados para ninguna comunicación, es igualmente preciso que se esté transmitiendo algo para que no se pierda durante esos intervalos de tiempo la señal piloto. Lo que se transmite en estos casos es la llamada ráfaga de relleno, que tiene también un formato especificado (básicamente son bits de modulación con una secuencia predefinida).

El formato de esta ráfaga es (figura 28):

TB (3)	Mixed bits (142)	TB 3	GP(8,25)
BN:	0.....2 3.....144 145.....147 148.....156,25	Bits de cola (3) Bits mezclados (142) Bits de cola (3) Periodo de guarda (8,25)	

Fig. 28

E.- Ráfagas normales

Estas ráfagas se utilizan tanto en el UL como en el DL. Llevan información de tráfico o canales de control. Su estructura básica es la siguiente; unos bits que componen la secuencia de entrenamiento del ecualizador situados en el centro de la ráfaga, dos campos de bits de información situados a sendos lados de la secuencia de entrenamiento y los bits de cola.

La razón de situar la secuencia de entrenamiento en el centro de la ráfaga es minimizar la distancia desde cualquier bit de información a dicha secuencia. En el proceso de ecualización se estima la función de transferencia del canal a partir de la secuencia de entrenamiento recibida y se supone que esta respuesta del canal es la misma durante toda la ráfaga y que, por lo tanto, es la que puede utilizarse para la ecualización de los datos. El error cometido en esta hipótesis es mínimo cuando se minimiza la separación temporal entre los bits de información y los de la secuencia de entrenamiento.

En las ráfagas normales hay ocho posibles secuencias de entrenamiento, identificadas a través del código de la secuencia de entrenamiento. TSC (Training Sequence Code). El que haya más de una hace posible disponer de una cierta protección frente a interferencias. Si llegan a un receptor dos señales interferentes, y cada una de ellas utiliza una secuencia de entrenamiento distinta, al estar las secuencias diseñadas de forma que tengan muy poca correlación entre sí, sería posible discriminar cuál de las dos aportaciones es la que corresponde a la señal que interesa para la determinación de la función de transferencia del canal, ignorándose la otra componente, optimizando de esta forma el funcionamiento del ecualizador. La idea es por tanto asignar distintas secuencias de entrenamiento a aquellos sectores celulares que sean

potencialmente interferentes. La forma establecida en la especificación GSM 03.03 para asignar el TSC es hacerlo igual al BCC (BTS Colour Code, segundo dígito del BSIC), ya que celdas próximas entre sí que reutilicen frecuencias deberían tener distintos BSIC, y así tendrían también distintos TSC.

La estructura de las ráfagas normales es por tanto la siguiente (figura 29):

TB 3	Information (58)	Training sequence (26)	Information (58)	TB 3	GP(8,25)
BN		0.....2	Bits de cola (3)		
		3.....60	Bits de información cifrados (38)		
		61.....86	Secuencia de entrenamiento (26)		
		87.....144	Bits de información cifrados (39)		
		145.....147	Bits de cola (3)		
		148.....156,25	Periodo de guarda (8,25)		

Fig. 29

4.4.3. Correspondencia canales Lógicos - canales físicos

En este apartado se describen los canales lógicos existentes, su aplicación y los recursos y tipos de ráfagas que se utilizan para plasmarlos en canales físicos. Los canales lógicos se clasifican en dos grandes grupos: canales comunes y canales dedicados.

A.- Canales comunes

Los canales comunes son aquellos que, como su propio nombre indica, transmiten información de señalización común a todos los móviles que se encuentran "acampados" en una celda dada. Son canales punto-multipunto.

Los canales lógicos comunes son: BCCH, FCCH, SCH, PCH. AGCH. NCH (descendentes) y RACH (ascendente).

De todas las portadoras que transmite una celda dada, hay una de ellas que funciona como señal piloto para los móviles, utilizándose su TN (time-slot number) 0 físico para transmitir todos los canales comunes de señalización. Esta portadora se identifica generalmente con el nombre de uno de los canales lógicos que transmite: BCCH y se denomina "portadora BCCH".

A continuación se describen los canales lógicos comunes que se transmiten en la portadora BCCH. Los canales FCCH y SCH se transmiten obligatoriamente en el TN 0 y solo en él. El canal BCCH y el resto de los canales ocupan también el TN 0, si bien la especificación GSM 05.02 contempla la posibilidad de que puedan ocupar, además, otros TN. Los canales PCH, AGCH, NCH y RACH se suelen agrupar con una denominación común, CCCH (Common Control Channel).

A continuación se describe la aplicación de cada canal lógico y la constitución del canal físico asociado:

A.1. FCCH (Frequency Correction CHannel) y SCH (Synchronization CHannel)

Son los canales de adquisición de frecuencia y de sincronización temporal. En el SCH se transmiten los parámetros a partir de los que pueden calcularse los números BN, QN, TN y FN que permiten identificar la posición dentro de la trama temporal y el BSIC (Base transceiver Station Identity Code) asignado a esta celda. El BSIC está compuesto por dos dígitos: NCC y BCC, siendo el rango respectivo de valores de ambos dígitos de 0 a 7.

Tanto el FCCH como el SCH son canales lógicos unidireccionales (DL) transmitidos por la estación base y utilizan los formatos de ráfagas FB y SB, respectivamente. El

móvil determina el TN del resto de los TSs de la celda a partir de su posición relativa a la del TS en que se ha recibido el SCH (TN=0).

Estos canales utilizan la multitrama MF51 recorrida por el TN 0 de la portadora BCCH, de la forma que se muestra en la figura 30

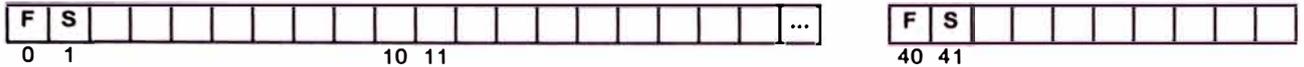


Fig. 30

La estructura temporal del conjunto FCCH/SCH es siempre la misma: se transmiten en tramas consecutivas (en la primera el FCCH y en la siguiente el SCH). Cada uno de estos canales utiliza 5 tramas de las 51 de la multitrama, estando separadas estas tramas por un período de 10 tramas.

A.2. BCCH (Broadcast Control CHannel), PCH (Paging CHannel) y AGCH (Access Grant CHannel) Son canales unidireccionales, de difusión (Broadcast Common CHannel), y de búsqueda/concesión de acceso de móviles (Paging CHannel y Access Grant CHannel). Utilizan ráfagas normales y se transmiten en el DL. La información útil de cada bloque de cada uno de estos canales ocupa 23 octetos (la trama de capa 2 de señalización tiene 23 octetos disponibles).

El BCCH lleva la siguiente información: identificación de la celda, del área de localización, organización de los CCCH, organización de los bloques destinados a PAGCH y de los grupos de búsqueda ("paging") y parámetros que determinan el comportamiento de los móviles cuando se hallan en modo desocupado (idle)

(selección/reselección de celda, actualización de posición (location update), acceso a las celdas, etc).

Las funciones que se realizan a través de los canales PCH y AGCH son:

- Realizar las búsquedas para localizar móviles que tienen llamadas entrantes, PCH (Paging CHannel).
- . Conceder el acceso a la red de los móviles que quieren iniciar llamadas o demandar cualquier servicio de la red, AGCH (Access Grant CHannel)

En consecuencia, hay dos tipos posibles de canales PCH/AGCH en función del número de tramas que ocupan dentro de la multitrama MF51. El que proporciona mayor capacidad de búsqueda y de acceso a la red utiliza intervalos de 36 tramas de las 51 de la multitrama (figura 31.a), mientras que el que da menor capacidad únicamente ocupa 12 tramas de las 51 (31.b). En ambos casos, se organizan en subcanales formados por grupos de 4 intervalos en tramas consecutivas (serían así 9 y 3 grupos ó subcanales respectivamente), correspondiendo la información transmitida en cada uno de estos grupos a la de un bloque de codificación.

En la figura 31 se muestra un ejemplo de la situación de los canales FCCH (F), SCH (S), BCCH (B) y CCCH (C) en el TS 0 de la multitrama de señalización MF51. La figura 31.a representa el caso de la configuración de mayor capacidad proporcionada por los canales CCCH, y la figura 31.b la de capacidad más reducida.

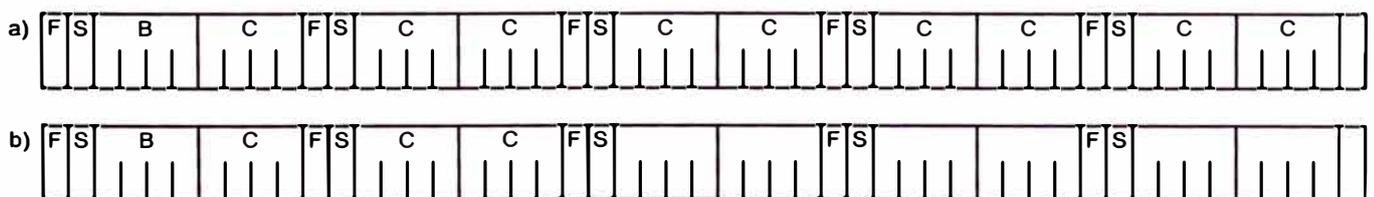


Fig. 31

Aunque no suele ser el caso normal, es posible definir más de un TS físico dentro de la portadora del BCCH para transmitir los canales lógicos BCCH, PCH y ACCH. En este caso, se usan además del TN0, los TN pares 2, 4, 6, por ese orden.

En el caso de utilizar únicamente el TN0, el canal BCCH, ocupa este TS de cuatro tramas consecutivas dentro de la multitrama MF51, inmediatamente después del primero de los 5 canales SCH que se transmiten en cada multitrama. Cada canal PCH y AGCH está desglosado en ráfagas que ocupan los TN de 4 tramas consecutivas, conteniendo cada ráfaga los bits de un bloque de información codificada. La organización dentro de la multitrama de los canales PCH y ACCH depende de la configuración concreta que se haya seleccionado para la gestión de los grupos de búsqueda, y del tipo de señalización. Se comentará más adelante al describir el procedimiento de búsqueda y las posibles combinaciones de canales.

A.3. NCH (Notification CHannel)

Es el canal de notificación, que únicamente se emplea para comunicar a todos los móviles de la red la llegada de llamadas correspondientes a mensajes de difusión de voz, o notificar a móviles pertenecientes a un grupo cerrado la llegada de llamadas correspondientes a mensajes de voz para los componentes de dicho grupo.

Es otro canal común CCCH unidireccional transmitido en el DL, y comparte con el resto de los canales comunes DL (PCH y AGCH) la misma correspondencia física.

A.4. RACH (Random Access CHannel)

Es el canal lógico empleado por los móviles cuando necesitan acceder a la red. Es por tanto un canal unidireccional, transmitido en el UL. Se considera canal común ya

que todos los RACH enviados por los móviles comparten el mismo canal físico (de hecho equivale a utilizar una técnica de acceso tipo ALOHA ranurado).

Utiliza ráfagas cortas de acceso, en el TN0 de la portadora del BCCH. Es posible, al igual que ocurre con el resto de los CCCH, que se utilicen otros TN además de éste (sería posible utilizar los TN 0, 2, 4 y 6).

La distribución dentro de la multitrama depende del tipo de señalización que se utilice. Si no se combina la señalización, el canal RACH ocuparía los TN 0 de todas las tramas de la multitrama MF 51 en el UL (figura 32.a). Si la señalización está combinada. Sólo se emplearían como canal RACH los TN 0 de 23 tramas dentro de la multitrama MF51 (figura 32.b).

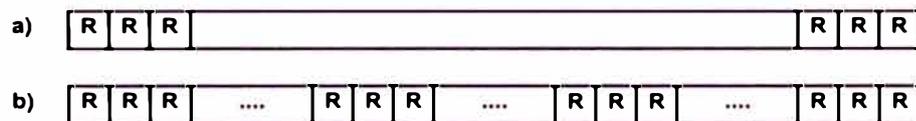


Fig. 32

A.5. CBCH (Cell Broadcast CHannel)

Es un canal DL utilizado para transportar el servicio de difusión de mensajes cortos (SMSCB). El canal físico que utiliza es exactamente igual al empleado por el canal SDCCH, que se describe en el siguiente apartado. Sigue un ciclo de 8x51 tramas, estando limitadas las posiciones que puede tomar dentro de este ciclo, así como los TN permitidos, para que no haya colisión con el requisito de poder escuchar la información del PAGCH y del BCCH de otras estaciones. Al igual que en el caso del resto de los canales comunes, la información útil de cada bloque CBCH ocupa 23 octetos.

B.- Canales dedicados

Los canales lógicos dedicados son aquellos que transmiten información correspondiente a una conexión establecida entre un móvil concreto y la red. Son, por tanto, canales punto a punto. Pueden clasificarse en función del tipo de información que se transmite: voz/datos o señalización asociada a esa conexión.

A continuación se describen estos canales lógicos bidireccionales dedicados y su correspondencia con los canales físicos.

B.1. TCH/F (Traffic CHannel Full Rate), TCH/H (Traffic CHannel Half Rate)

Son los canales lógicos de tráfico, a través de los cuales se transmite la información: voz/datos. En ambos casos se utilizan ráfagas normales. Son canales bidireccionales, que utilizan el mismo TN tanto en la portadora del DL como en la del UL. Pueden ocupar cualquier TN en cualquier portadora, salvo el $TN=0$ de la portadora BCCH, que, como ya se ha indicado, se reserva para canales comunes de señalización. Los TS de estos canales recorren la multitrama denominada multitrama de tráfico.

De todas las portadoras asignadas a una celda, solamente la que lleva el BCCH transmite constantemente en el DL en todos sus TN, independientemente de si están efectivamente ocupados con tráfico ó no lo están. En cambio, en el resto de las portadoras únicamente se transmite en aquellos TN que estén realmente ocupados.

Hay dos clases de canales de tráfico: de velocidad total (TCH/F) y de velocidad mitad (TCH/H), que se diferencian en la periodicidad del canal. El (TCH/F) ocupa un TS por trama, mientras que el TCH/H ocupa en promedio un TS de cada dos tramas (en realidad sólo aquellos TCH/H que ocupan TN pares cumplen exactamente esta periodicidad; los impares no, debido al intercalado de canales de señalización

asociada que se hace en la multitrama MF26 de canales de tráfico, tal y como se verá en detalle cuando se describa la estructura de las multitramas). Esta diferencia en la periodicidad determina la diferencia en la velocidad de transmisión de cada uno de los dos canales: TCH/F 22,8 kbit/s, TCH/H 11,4 kbit/s.

Para la transmisión de datos, se definen los siguientes tipos de canales TCH:

Canal de tráfico de velocidad total (full-rate) para transmisión de datos a 9,6 kbit/s

Canal de tráfico de velocidad total (full-rate) para transmisión de datos a 4,8 kbit/s

Canal de tráfico de velocidad mitad (half-rate) para transmisión de datos a 4,8 kbit/s

Canal de tráfico de velocidad mitad (half-rate) para transmisión de datos a $\leq 2,4$ kbit/s

· Canal de tráfico de velocidad total (full-rate) para transmisión de datos a $\leq 2,4$ kbit/s

B.2. SACCH/TF (Slow Associated Control CHannel/ Traffic Channel Full rate),

SACCH/TH (Slow Associated Control Channel/Traffic channel half rate)

Es el canal de señalización "lento" asociado al canal de tráfico. En este canal se transmite aquella información asociada a la conexión necesaria para la gestión de la movilidad y de los recursos radio: medidas de nivel y calidad del DL de la celda a la que está enganchado el móvil, medidas de nivel de las celdas vecinas, parámetros relativos a funcionalidades empleadas por el operador, etc.

Dentro de la multitrama de canales de tráfico, se intercalan tramas dedicadas a señalización SACCH entre las dedicadas a TCH. Concretamente, en el caso del SACCH/TF se utiliza para señalizar una de cada 26 y una de cada 12, en el caso del SACCH/TH. La estructura física de este canal lógico, salvo por su periodicidad, es

por tanto idéntica a la del canal de tráfico al que va asociado: ráfagas normales, canales bidireccionales, ocupando cualquier TN de cualquiera de las portadoras empleadas por la estación base.

En la figura 33.a se representa una multitrama de 26 tramas (MF26). Para un TS genérico, en las tramas 0 a 11 y 13 a 24 van ubicadas las ráfagas del TCH/F (T). En la trama 12 se sitúa el SACCH (S5) y la trama 25 queda vacía (I, idle). En la figura 33.b se ilustra el uso de la MF26 para los dos subcanales TCH/H denominados T y t con sus SACCHs asociados S y s respectivamente.

La información útil de cada bloque SACCH ocupa 23 octetos (184 bits). Este bloque tras su codificación para detección/corrección de errores contiene 456 bits que requieren 4 ráfagas para su envío. Se transmite una ráfaga de SACCH cada multitrama MF26, luego el envío del mensaje completo implica 4 multitramas. Como la duración de la MF26 es 120 ms, resulta que el período del SACCH es $4 * 120 = 480$ ms.

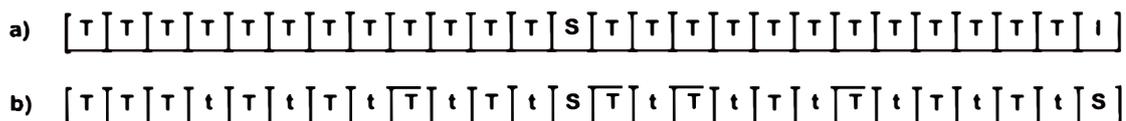


Fig. 33

En los dos primeros octetos del SACCH en el enlace descendente, la estación base indica al móvil la potencia y el avance temporal, TA (timing advance) con que debe transmitir. En los del enlace ascendente el móvil informa a la estación base de la potencia y el TA real con que está transmitiendo. De esta forma quedan 21 octetos disponibles para utilizarlos como trama de capa 2 de señalización.

B.3. FACCH/F (Fast Associated Control CHannel Full rate), FACCH/H (Fast Associated Control CHannel Half rate)

Es el canal de señalización rápido asociado al canal de tráfico de velocidad total o mitad, respectivamente. Se utiliza para transmitir señalización que no puede esperar a que llegue el SACCH correspondiente, como por ejemplo la gestión de trasposos. La información útil de cada bloque FACCH ocupa también 23 octetos.

En este caso, para transmitir esa información de señalización urgente se sustraen bits de las tramas de tráfico, del modo siguiente: la trama básica del canal FACCH está formada por 456 bits codificados. Como se sustrae un bloque básico de voz completo (20 ms de voz), cuyos bits están entrelazados en 8 tramas consecutivas, los bits utilizados por el FACCH dentro de cada TS son los que corresponden a ese bloque de voz, es decir, en los TSs de las 4 primeras tramas se roban los bits impares y en los de las 4 últimas se roban los bits pares, y en ellos es en los que se transmiten los 456 bits que componen el FACCH. Para saber si la información que va en un determinado TS es del TCH ó del FACCH, se incluyen dos bits indicadores (flags) que señalan si los bits pares o los impares contienen información de voz o de señalización.

La estructura física del FACCH es semejante a la del canal de tráfico al que va asociado: ráfagas normales, canales bidireccionales, ocupando cualquier TN de cualquiera de las portadoras empleadas por la estación base (salvo el TN0 de la portadora BCCH).

B.4 SDCCH (Stand alone Dedicated Control CHannel)

Es el canal a través del que se transmite toda la información de señalización necesaria para:

Establecimiento de una llamada: en este caso la información incluye la comprobación de la identidad del abonado, la autenticación del móvil, el número al que se llama y el establecimiento de los parámetros necesarios para el cifrado de la conversación.

Encendido / apagado del móvil: IMSI Attach/IMSI Detach

Actualización de posición: la información transmitida en este caso es: comprobación de la identidad del abonado, autenticación del móvil, establecimiento del cifrado e indicación del valor del nuevo LAC en el que quiere registrarse el móvil, envío / recepción de SMS (mensajes cortos): la información transmitida es semejante a la que corresponde a un establecimiento de llamada, pero además se incluye el contenido del mensaje.

El canal SDCCH utiliza ráfagas normales. Es un canal bidireccional, que emplea por lo tanto el mismo TN, tanto en la portadora del DL como en la del UL. Puede ocupar cualquier TN en cualquier portadora. Hay dos clases de canales SDCCH:

- SHCD/8: en este caso, la utilización de un único TS en la trama de una portadora (es decir, utilizar 1 SDCCH/8) implica disponer de 8 canales físicos de señalización independientes. Esto es, con 1 SDCCH/8 pueden cursarse simultáneamente las señalizaciones asociadas a 8 móviles distintos.
- SDCCH/4: en este caso se dice que la señalización está combinada, ya que lo que se hace es utilizar el TS 0 de la portadora del BCCH para transmitir la información de los canales comunes de señalización y cuatro canales físicos de señalización

dedicada (esto es, se transmite la señalización generada por 4 móviles en el mismo TS que la información de los CCCH).

En realidad, los SDCCH pueden considerarse canales similares a los TCH, salvo que su ciclo de aparición es mayor, y la velocidad neta de información de estos canales es aproximadamente 8 veces menor que la de los de tráfico.

Cada "subcanal" físico del SDCCH utiliza ráfagas formadas por 4 TS en tramas consecutivas. Al igual que los TCH, tienen canales SACCH asociados, en los que se transmite información de "señalización asociada al canal de señalización": medidas de nivel y calidad en el canal SDCCH, puede adelantarse ya que la duración del ciclo de los SDCCH es de 102 tramas; dentro de ese ciclo se transmiten tres ráfagas asociadas a cada uno de los subcanales físicos del SDCCH, separadas entre sí 51 tramas. De estas tres ráfagas, dos llevan la información propiamente dicha del SDCCH, y una la información correspondiente al SACCH asociado correspondiente. Como es habitual, la información útil de cada bloque SDCCH ocupa 23 octetos.

4.4.4. Combinaciones de canales

Una vez descrita la estructura física de todos los posibles canales lógicos que pueden transmitirse en GSM, vamos a pasar a considerar las posibles combinaciones de estos canales, sobre un canal físico determinado, que pueden darse en una misma celda.

La adopción de una configuración determinada dependerá de la capacidad de búsqueda/señalización/tráfico que se quiera ó se necesite utilizar en una determinada celda y es un asunto que decide el operador de GSM.

En primer lugar, los canales que imprescindiblemente deben utilizarse en toda celda son:

Un unico FCCH

Un unico SCH

Al menos un BCCH

En cuanto al modo de combinar los canales comunes de señalización, hay tres posibilidades:

1.- Señalización descombinada: sobre el TN 0 de la portadora que lleva el BCCH se transmiten (en sentido DL) el FCCH, el SCH, un BCCH y un PCH/AGCH de los de "gran" capacidad (9 subcanales). En el UL se transmite un canal RACH de forma que no queda ninguna trama en la multitrama sin utilizar.

2.- Señalización combinada: Es la configuración empleada para celdas con poca necesidad de capacidad: debido a que no tienen mucho tráfico, no requieren gran capacidad de búsqueda ni de accesos aleatorios desde los móviles, por lo que sobre el TN 0 de la portadora que lleva el BCCH se transmiten en sentido DL el FCCH, el SCH, un BCCH, un PCH/AGCH de poca capacidad (3 subcanales) y un SDCCH/4. En el UL se transmite la parte correspondiente del SDCCH/4 y un RACH que ocupa solo 23 de las 51 tramas de la MF51. De esta forma, parte de las tramas que componen la MF51 se comportan como canal punto a multipunto y otra parte como punto a punto.

3.- Señalización en celdas con gran necesidad de capacidad. En este tipo de celdas no basta con emplear un canal PCH/AGCH de gran capacidad, sino que es necesario utilizar más de un TS para acomodar la señalización común. Lo que se hace es utilizar el TN 0 de la portadora del BCCH, al igual que en la configuración de

señalización descombinada y utilizar en otro/otros TS (hasta 3 TS de extensión: TN 2, 4 y 6) la siguiente configuración: en el DL un BCCH y un PCH/AGCH de alta capacidad, y en el UL un RACH de alta capacidad. El que se transmita un BCCH en cada uno de los TS en los que se radia información de señalización común obedece a dos causas: por un lado, parte de la información radiada por el BCCH se refiere a parámetros que afectan al RACH de su propio TS, de forma que podría definirse de forma diferente el modo de acceder a la celda al utilizar unos canales de búsqueda u otros; por otro lado, al incluir en el mismo canal físico la información del BCCH, el móvil sólo tendría que escuchar un TS (el 0 o el 2) para disponer de la información básica de control, lo cual facilita su funcionamiento. Como se indicó al describir los canales comunes de señalización, los TS que pueden emplearse son, además del 0, el 2, 4 y 6 de la portadora BCCH. El emplear estos y no otros se debe a que de esta forma se asegura la posibilidad de poder utilizar esta configuración en celdas con rango extendido (celdas cuyos TS "duran" el doble, permitiendo así la utilización de radios celulares de hasta 70 km).

Para los canales dedicados hay también un conjunto finito de posibles combinaciones de canales lógicos sobre un mismo canal físico:

- 1.- Canal de tráfico de velocidad total: transmitir un TCH/F bidireccional con su FACH y SACCH correspondientes sobre un TN dado dentro de la trama (la única limitación es que no puede ser el TN 0 de la portadora BCCH, ya que ahí va obligatoriamente señalización común). De la multitrama MF26 queda una trama sin utilizar.

2.- Canal de tráfico de velocidad mitad: transmitir dos TCH/H, (con sus FACH y SACCH correspondientes) asociados a distintos sub-TNs (si se utiliza el TN i , se transmiten en un TCH/H sub TN i y un TCH/H sub TN $i+1$). No quedaría ninguna trama sin utilizar de la multitrama MF26.

3.- Canal de señalización SDCCH/8 con su SACCH asociado. Se transmite en cualquier TN (con la limitación de no ser el TN 0 de la portadora del BCCH). De la multitrama MF51 quedan 3 tramas sin utilizar.

4.4.5. Estructura de las multitramas

Al exponer la estructura del TDMA y la generación de los canales físicos de la interfaz radio de GSM, se ha presentado la organización de las tramas en jerarquías de orden superior, las multitramas. Como se ha visto, hay dos clases de multitramas: multitramas de canales dedicados de tráfico (denominadas MF26) y multitramas de canales de señalización y control (MF51). Ambas multitramas siguen ciclos que corren en paralelo sobre una estructura superior denominada supertrama. De esta forma, una determinada trama ocupa sendas posiciones en cada una de las dos estructuras cíclicas paralelas de multitramas.

La multitrama de canales de tráfico consta de 26 tramas y su duración es igual a 120ms.

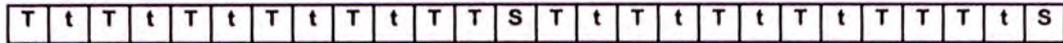
Este valor se ha escogido como múltiplo de 20 ms para conseguir cierto sincronismo con las redes fijas. La duración de la trama y el TS vienen determinados por este valor de 120 ms: duración de la trama = $120/26 = 4,615$ ms, duración del TS = $120/(26*8) = 0.577$ ms.

El número de tramas de la multitrama de señalización es de 51 que, como puede verse, no tiene ningún divisor común con las 26 de la de tráfico. Esto se ha elegido así para asegurar que los móviles en modo dedicado pueden escuchar el canal de sincronización (SCH) y de corrección de frecuencia (FCCH) de las celdas vecinas, condición imprescindible para decodificar el BSIC de esas celdas, lo cual es necesario para realizar el traspaso de una celda a otra.

A.- Multitramas de tráfico

Como se explico el bloque básico de voz (entrada al codificador) tiene una duración de 20 ms. Como la multitrama de tráfico tiene una duración de 120 ms contiene 6 bloques básicos de voz codificada. En la estructura de la multitrama de tráfico se multiplexa temporalmente un canal TCH con sus canales SACCH y FACCH asociados.

Hay dos tipos básicos de multitramas de 26 tramas: la empleada para un canal TCH/F, y la empleada para dos canales TCH/H. En todas las representaciones graficas de las multitramas que se van a hacer se representará únicamente el TS utilizado por ese canal en cada trama, por lo que no hay que perder de vista que la separación temporal entre dos TS representados aquí consecutivamente es precisamente la duración de una trama (4,615 ms)



T,t : Canales TCH/H.

S,s : Canales SACCH asociados a cada uno de los dos canales TCH/h.

El S es el asociado al canal T y el s al canal t.

Fig. 35

B.- Multitramas para canales de señalización

Ya hemos visto que la multitrama de los canales de señalización (MF51) esta formada por 51 tramas. Su duración se calcula con referencia a los 120 ms de la MF26, siendo por lo tanto igual a $51 * 120/26 = 235,38\text{ms}$.

Esta multitrama se utiliza para canales de señalización tanto comunes como dedicados. Tal y como se ha indicado en el apartado anterior, hay tres posibles formas de combinar los canales de señalización comunes, que se plasman en otras tres posibles estructuras de la multitrama, y una forma de multiplexar los subcanales de señalización dedicados, que da la cuarta posible estructura de la multitrama de señalización. A continuación se detallan las correspondientes estructuras de la MF51.

B.1. Multitrama para señalización descombinada

Es la primera de las posibilidades de combinación de canales de señalización descrita en el apartado anterior. Se multiplexan sobre esta multitrama los canales BCCH, FCH, SCH y canales comunes de control. En este caso, el TS que se utiliza en cada una de las tramas es el TN0 y, además, esta multitrama sólo está soportada por la portadora BCCH.

B.2. Multitrama para señalización combinada

Este es el segundo caso posible de combinación de canales de señalización. Sobre el TN 0 de la portadora BCCH se multiplexan los canales BCCH, FCH, SCH, CCCH y SDCCH/4.

Con esta estructura el periodo completo dura dos multitramas MF51, quedando 2 TS libres, uno en cada multitrama.

B.3. Multitrama de canales de Señalización común de muy alta capacidad

En este caso se utilizan varios TN de la portadora BCCH para transmitir los canales de señalización común. La multitrama soportada en el TN 0 es exactamente igual a la utilizada en la configuración de señalización descombinada. La estructura de las multitramas soportadas en los posibles TN de extensión (2, 4 ó 6) es la misma que la del TN 0, salvo que en estos casos no se transmiten FCH ni SCH, por lo que esas tramas quedan libres.

B.4. Multitrama de canales de señalización dedicados

Este es el tercer caso de posibles combinaciones de canales dedicados que se ha descrito en el apartado anterior. En esta multitrama se multiplexan los canales SDCCH/8 y sus SACCH asociados. Esta múltiplexación puede hacerse sobre cualquier TN de cualquier portadora, salvo el TN 0 de la portadora BCCH.

Como resumen, en la tabla 4 se indican las principales características de los distintos canales:

Tabla 4

Canal	Conectividad	Direccionalidad	Multitrama	Intervalo (TS)	Velocidades de transmisión/Información	Tipo de rafaga
BCCH	Punto/multipunto	Unidireccional descendente	MF51	0 (2,4,6) de la portadora BCCH	Transmisión: 1,94 kbits/s Información: 781 bits/s	NB
FCH	Punto/multipunto	Unidireccional descendente	MF51	0 de la portadora BCCH	Transmisión: 2,42 bits/s	FB
SCH	Punto/multipunto	Unidireccional descendente	MF51	0 de la portadora BCCH	Transmisión: 2,42 bits/s	SB
RACH	Punto/punto	Unidireccional ascendente	MF51	0 de la portadora BCCH		AB
CCCH	Punto/punto	Unidireccional descendente	MF51	0 (2,4,6) de la portadora BCCH	Transm. /subcanal: 1,94 bits/s Inform. /subcanal: 781 bits/s	NB
SDCCH	Punto/punto	Bidireccional	MF51	Cualquiera salvo el 0 de la portadora BCCH	Transmisión: 1,94 kbits/s Información: 390 bits/s	NB
SACCH/ SDCCH	Punto/punto	Bidireccional	MF51	Cualquiera salvo el 0 de la portadora BCCH	Transmisión: 970 bits/s Información: 390 bits/s	NB
TCH/F	Punto/punto	Bidireccional	MF51	Cualquiera salvo el 0 de la portadora BCCH	Transmisión: 22,8 kbits/s Información: 13 kbits/s	NB
SACCH/ TCH-F	Punto/punto	Bidireccional	MF51	Cualquiera salvo el 0 de la portadora BCCH	Transmisión: 950 kbits/s Información: 383 bits/s	NB
TCH/H	Punto/punto	Bidireccional	MF51	Cualquiera salvo el 0 de la portadora BCCH	Transmisión: 11,4 kbits/s Información: 6,5 kbits/s	NB
SACCH/ TCH-H	Punto/punto	Bidireccional	MF51	Cualquiera salvo el 0 de la portadora BCCH	Transmisión: 950 bits/s Información: 383 bits/s	NB

4.4.6. Supertramas e hipertrama

La estructura jerárquica temporal que sigue a las multitramas son las denominadas supertramas. El periodo de una supertrama es el mínimo común múltiplo de los periodos de los dos tipos de multitramas, es decir, $51 \times 120 \text{ms} = 6,12 \text{ segundos}$. Una supertrama está por tanto formada por 51 multitramas de tráfico (MF26) o por 26 multitramas de señalización (MF51)

La estructura temporal periódica mas larga definida es la denominada hipertrama. La hipertrama tiene una duración de 2048 supertramas, por lo que su periodo es igual a $2048 \times 6,12 = 12.533.76 \text{s}$, es decir, 3h. 28min. 53s. 760 ms. Las tramas TDMA se numeran modulo esta hipertrama, esto es, el numero de trama TDMA, o FN (Framer Number), va desde 0 hasta 2715647. El tener una estructura tan larga se debe a que se necesita para soportar los mecanismos de cifrado a que se somete la señal vocal.

La estructura completa temporal del sistema se muestra esquemáticamente en la figura 36.

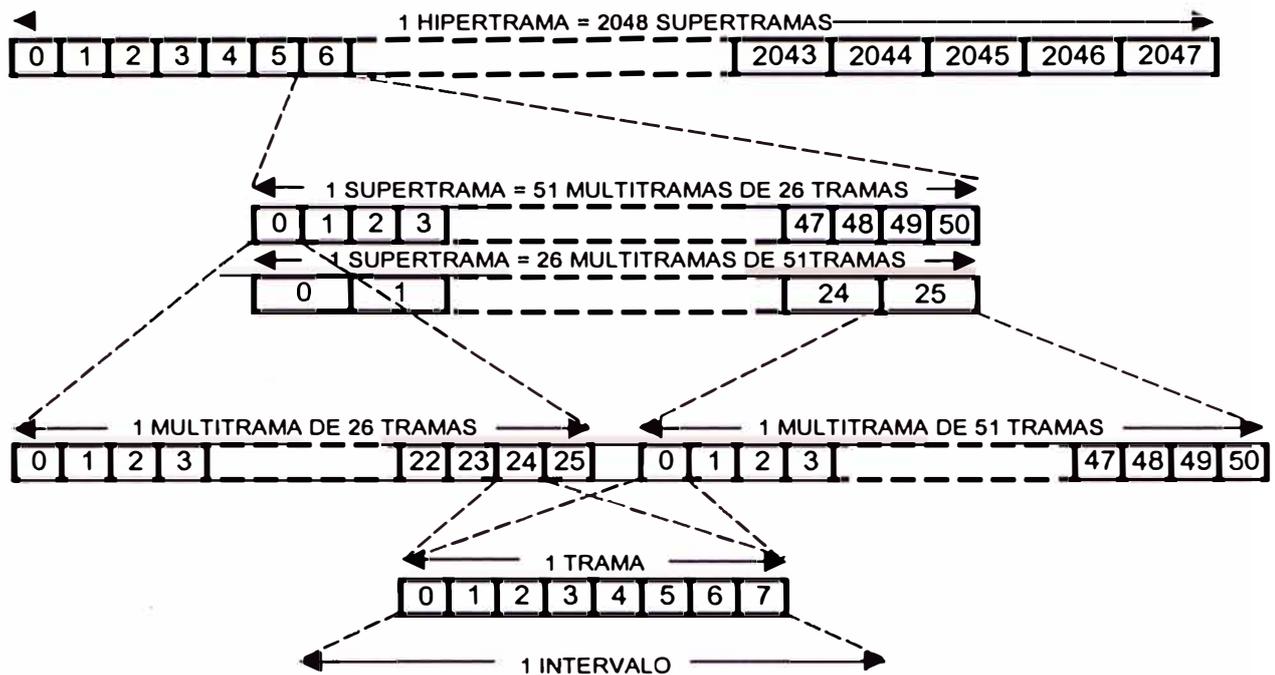


Fig. 36

Como ya se ha indicado, los ciclos de los dos tipos de multitramas corren en paralelo sobre cada supertrama. Gracias a los mensajes transmitidos en el SDH, el móvil conoce exactamente la posición que ocupa dentro de cada uno de los dos ciclos de multitramas. Cuando el móvil se encuentra en estado desocupado (idle), esta escuchando la multitrama MF51. Al iniciar una llamada y comenzar la etapa de señalización continua en esa estructura MF51, pero al asignarle el canal de tráfico pasa a modo dedicado u ocupado atendiendo a partir de ese momento al ciclo de la MF26. Este paso de un tipo de multitrama a otro puede hacerse en cualquier momento, con una restricción: debe ser una trama correspondiente al TCH o al SACCH dentro de la MF26. Si en ese momento corresponde la trama libre, espera a la siguiente para cambiar de tipo de multitrama, pasando así al modo dedicado.

4.4.7. Sincronización temporal

Como se indicó el móvil necesita alinear su estructura temporal TDMA con la de la estación base. Para ello, las estaciones móviles reciben información de sincronización temporal desde la BTS a través del canal SCH. Esta información está contenida en un conjunto de contadores. La forma de hacer este alineamiento temporal es la siguiente: la BTS envía a los móviles los estados de sus contadores y cada móvil retorna a la BTS los números de sus ráfagas, con el retardo de los 3 intervalos y el avance temporal. Los contadores describen la temporización interna de las estaciones y son los siguientes:

Numero de cuarto de bit, QN (Quarter bit number), variable de 0 a 624.

Numero de bit, BN (Bit number), variable de 0 a 156.

Número de intervalo de tiempo, TN (Time slot Number), variable de 0 a 7.

Número de trama TDMA, FN (Frame Number), variable de 0 a 26 (51(2048 = 2715647)).

CAPÍTULO V

ANÁLISIS DEL SUBSISTEMA BSS

5.1. EL SUBSISTEMA BSS

5.1.1. Introducción

Este subsistema está formado por el conjunto de estaciones base, BTS (Base Transceiver Station), y controladores de estaciones base, BSC (Base Station Controller), de la red GSM. Es, por tanto, el conjunto de todos los equipos relacionados con los aspectos radio de la red.

Una BTS es el equipo radio necesario para mantener el tráfico en una celda. Un BSC puede controlar a una o más BTS. Sin embargo, una BTS sólo puede estar controlada por un BSC, no por varios. El subsistema BSS se encarga de manejar la comunicación radio con los móviles, gestionar los traspasos entre celdas que estén conectadas a un mismo BSC, controlar el nivel de potencia transmitido por móviles y por BTS, etc. En la figura 37, se muestran las fronteras del subsistema BSS.

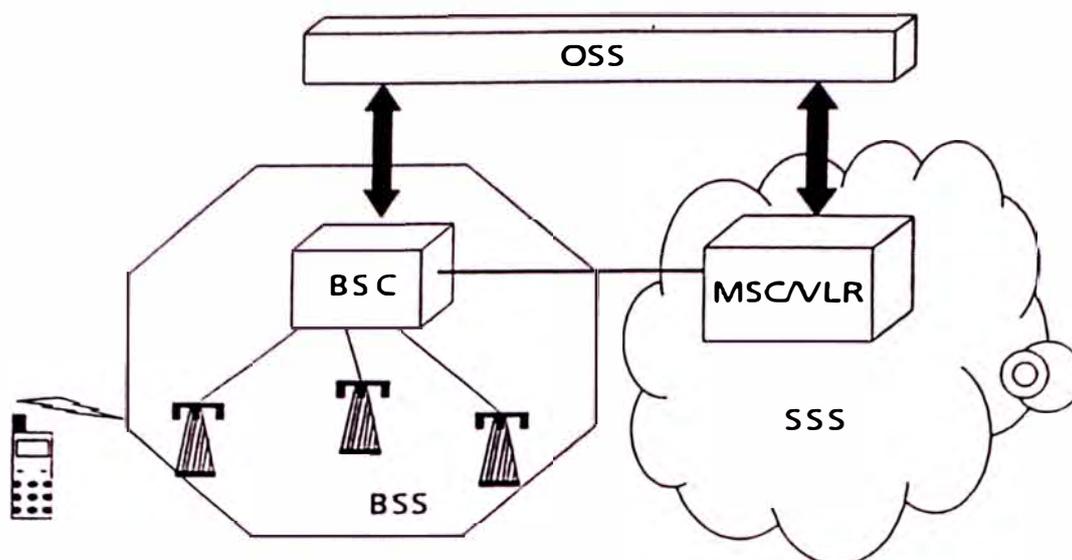


Fig. 37

Como se aprecia en la figura, el subsistema BSS interactúa con la interfaz radio y con el subsistema SSS a través de un MSC/VLR o GMSC/VLR. Además, estará en contacto con el subsistema OSS de operaciones y mantenimiento.

La razón de que este subsistema esté dividido en dos tipos de nodos, se debe a que de esta forma se puede concentrar la inteligencia en uno de ellos, el BSC, que controlara varios de los otros, que son mucho más sencillos y por tanto, su coste es mucho menor. Se puede considerar que la BTS es el brazo radio del BSC.

Aunque el subsistema BSS comprende el conjunto de BTS y BSC, en este capítulo nos centraremos en el estudio del BSC.

Existe un tercer elemento que también se incluye dentro de este subsistema pero que funcionalmente es secundario: se trata de la unidad de transcodificación y adaptación de velocidad, TRAU (Transcoding and Rate Adaptation Unit). Su cometido consiste en adaptar la transmisión de la interfaz A-bis (13 kbit/s en el caso de canales "full

rate") a la que se necesita en la interfaz A para que la llamada pueda ser conmutada por el MSC (64 kbit/s).

5.1.2. Funciones del BSC

Es donde residen las funciones de control de BSS. De todas las funciones de capa 3 que define el estándar GSM, el BSC se encarga de las funciones de gestión de recursos radio, RR (Radio Resources), mientras que muchas de las funciones relacionadas con la gestión de la movilidad, MM (Mobility Management) o de la conexión, CM (Connection Management), utilizan el protocolo DTAP (Direct Transfer Application Part) y la mayoría pasan de forma transparente a través del BSC, no obstante el BSC dispone de mecanismos de gestión de los enlaces de cara a establecer comunicaciones.

Sus principales cometidos son:

- Control de la red radio, por ejemplo cada vez que se integran estaciones nuevas, hay que adaptar la red para que todo siga funcionando correctamente. El BSC dispone de numerosos contadores para obtener estadísticas sobre el tráfico en esta interfaz. Estas estadísticas, son las que permitirán al operador conocer el estado de la parte radio de su red y obrar en consecuencia.

Control de las BTS: la implementación en el mercado de los diferentes suministradores puede ser muy variada. Lo más general es que el BSC controle todas las funciones principales de las BTS y éstas prácticamente no decidan nada de forma autónoma. Así, por ejemplo, el BSC establece la configuración de TRX y frecuencias de las celdas conectadas a él.

- Conexión con los móviles. El BSC es quien se encarga de controlarla en todos los aspectos: establecimiento y liberación de los canales, asignación de los recursos radio necesarios, etc. Dispone de algoritmos de control de potencia que permiten ajustar la misma de forma óptima.

- Dentro de las actividades del punto anterior, merece mención especial el traspaso. Siempre que se realice entre celdas de un mismo BSC, es este quien toma la decisión. Cuando el traspaso es entre celdas de diferentes BSC, entonces el MSC deberá intervenir en el proceso, pero seguirá siendo el BSC quien lo controle, al ser el único nodo que dispone de información en tiempo real.

Existe un tipo especial de traspaso, el traspaso intracelda, que es el que se realiza dentro de una misma celda, pero a otro canal. Se produce cuando el BSC detecta que la calidad de la comunicación es baja, pero no peor que la de las celdas vecinas. En este caso, trata de cambiar a un intervalo de tiempo TS de otra frecuencia con objeto de mejorar dicha calidad.

- Permite el paso de determinados mensajes entre el móvil y el MSC/VLR o e HLR de forma transparente, es decir, sin ninguna intervención en los mismos. Por tanto, dispone de las funciones necesarias para poder discriminar los mensajes que deben serle transparentes, de los que no, un ejemplo de mensajes transparentes son los cambios en los servicios suplementarios, que puede realizar el móvil directamente, como cambiar el desvío de su teléfono.

Control de los circuitos hacia las BTS. El BSC supervisa y asigna todos los circuitos hacia las BTS, así como el conmutador remoto, que permite un uso eficiente de los canales, y que las BTS puedan conectarse en cascada.

- El BSC es quien distribuye los mensajes de aviso (paging) del MSC. Este tipo de mensajes los transmite la red hacia el móvil, por ejemplo, cuando tiene una llamada para él.
- Es el núcleo donde residen todas las funciones de operación y mantenimiento del subsistema BSS.
- Es la interfaz funcional del subsistema BSS con el MSC/VLR.

5.1.3. TRAU

Es la unidad de transcodificación / adaptación de velocidad. Si se consideran las dos interfaces del subsistema BSS, se observa que la velocidad de las mismas es diferente:

- En la interfaz radio cada canal de voz no llega a los 16 kbit/s. En los canales "full rate", la velocidad del canal codificado es de 13 kbit/s. En los "half rate" es de 6,5 kbit/s. La limitación de velocidad en la interfaz radio se debe al interés existente en utilizar la menor anchura de banda posible.
- En la interfaz A, la velocidad de los canales está estandarizada a 64 kbit/s, que es el nivel al que se produce la conmutación en los MSC. Por tanto, incluso en las llamadas móvil a móvil, será necesaria una doble transcodificación de 13 a 64 y viceversa para poder conmutar la llamada. La razón de que la conmutación se realice a 64 kbit/s se debe a que los MSC actuales son una adaptación de las centrales ISDN a GSM. Según lo anterior, en algún punto del enlace entre la BTS y el MSC deberá realizarse esta conversión, tal y como muestra la figura 38.

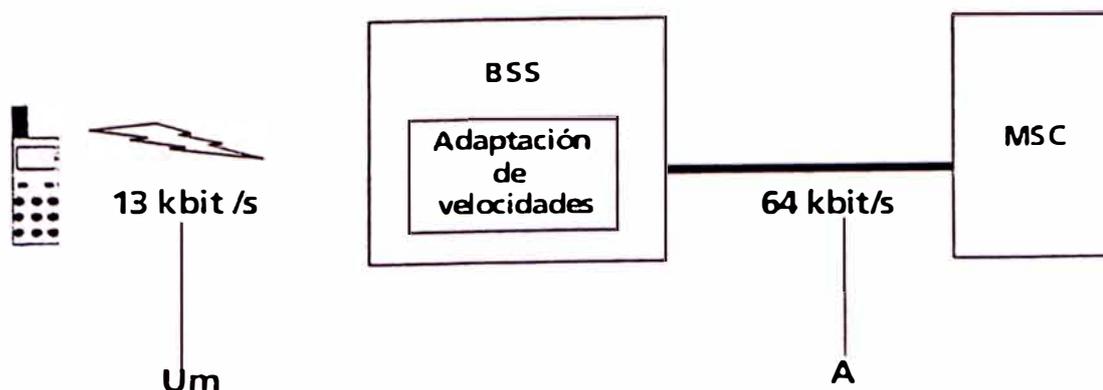


Fig. 38

La entidad encargada de esta conversión se denomina TRAU (Transcoding and Rate Adaptation Unit) y deberá realizar una transcodificación a efectos de poder adaptar la velocidad entre ambas interfaces.

La TRAU no se considera una entidad independiente, sino que aparece como integrada funcionalmente en el subsistema BSS, que será quien la controle directamente. En algunos casos, dependiendo de la configuración de la red de que se trate, resulta conveniente económicamente que el transcodificador se emplace junto al MSC, incluso en ese caso, seguirá considerándose parte del subsistema BSS.

5.2. INTERFAZ A-BIS

5.2.1. Introducción

Es la interfaz existente entre el BSC y las BTS. Las recomendaciones GSM proporcionan las directrices adecuadas para conseguir una conexión estándar entre los TRX/BTS remotos y el BSC, aun siendo de suministradores diferentes. Sin embargo, proporcionan la libertad de que los fabricantes puedan elegir esta conexión

básica o introducir soluciones propietarias en las que la división funcional entre BSC y BTS sea diferente.

El nivel físico de esta interfaz está constituido por enlaces de 2 Mbit/s según la recomendación G. 703 del CCITT. Cada enlace de 2 Mbit/s está formado por 32 canales de 64 kbit/s.

Una BTS es un equipo que controla una celda y puede tener uno o más transceptores TRX. Los TRX son entidades funcionales que soportan los 8 canales radio básicos de la misma trama TDMA. La gestión de los TRX puede realizarse o no con un equipo común.

La BTS consta además de una función de control de estación base, BCF (Base Control Function), que gestiona todas las funciones de control comunes dentro de la misma, como las secuencias del salto en frecuencia. En emplazamientos donde haya más de una BTS puede elegirse el BCF de una de ellas para realizar funciones comunes al emplazamiento como alarmas externas o suministro de energía.

La interfaz A-bis debe poder soportar tres tipos distintos de configuración interna de la BTS (figura 39):

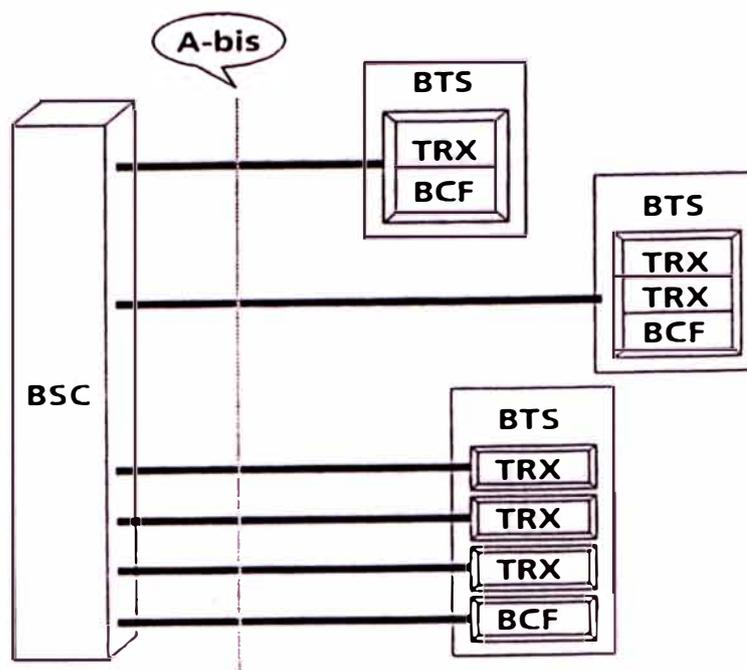


Fig. 39

- Que tenga un único TRX
- Varios TRX servidos por un único enlace físico con el BSC
- Varios TRX, cada uno con un enlace físico propio hacia el BSC

Las especificaciones GSM suponen que los sistemas de transmisión utilizados son digitales, bien a 2048 o a 64 kbit/s. Además, en algunos casos, se pueden soportar velocidades inferiores (subrate) de 16 y 8 kbit/s.

5.2.2. Canales

A.- Canales de Comunicación

En la interfaz A-bis, existen dos tipos de canales de comunicación:

- Canales de tráfico, SDC (Speech and Data Channel), que pueden tener velocidades de 8, 16 ó 64 kbit/s y llevan la voz o los datos correspondientes a un canal radio de

tráfico. En la actualidad un canal radio a velocidad completa (Full Rate), tiene un régimen binario de 13 kbit/s. La transmisión entre BTS y BSC se realiza mediante canales de 64 kbit/s, en los que se podrán alojar como máximo 4 canales "full rate". Si se considera un canal con velocidad mitad (Half Rate) de 6,5 kbit/s, entonces el número de canales radio que se podrá alojar será mayor. La figura 40 representa el caso en que hay 2 canales "full rate " y 4 canales "half rate".

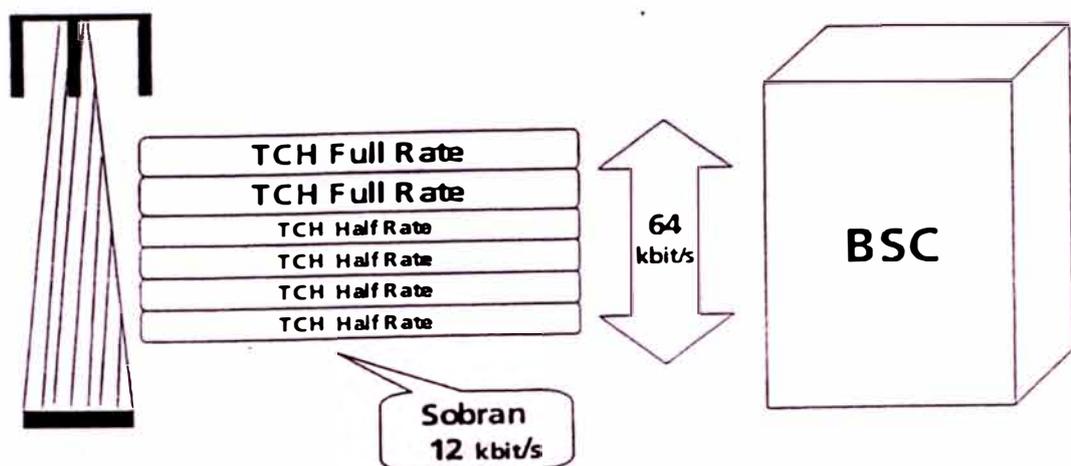


Fig. 40

En la figura anterior, se observa que hay una capacidad de 12 kbit/s que no se utiliza para los canales de voz y datos. En realidad lo que ocurre es que esta capacidad se emplea para transmitir datos de sincronización y control entre la BTS y la TRAU. Aunque es el BSC quien se encarga del control de la TRAU, es necesario este intercambio de información entre la TRAU y la BTS para que todo funcione correctamente. Así, por ejemplo, en el caso de un canal de voz "full rate", a los 13 kbit/s de la interfaz radio se les añaden 3 kbit/s para estas funciones, con lo que se convierte en un canal de 16 kbit/s entre la BTS y la TRAU.

- Canales de señalización, SCH (Signalling Channel) a las velocidades de 16, 32 o 64 kbit/s para transportar la información de señalización tanto entre móvil y BSC, como entre BTS y BSC.

B.- Enlaces de señalización

Para la señalización en la interfaz A-bis, se utiliza el protocolo de capa 2 LAPD . Los mensajes que se intercambian van dirigidos a un determinado equipo (TRX o BCF) para realizar una función específica.

Cada mensaje LAPD, en su campo de direccionamiento lleva definido el equipo al que va dirigido y el tipo de función a realizar. De esta forma, desde el BSC, el direccionamiento de cada TRX y BCF se realiza mediante el identificador de equipo terminal, TEI (Terminal Equipment Identifier), mientras que la función viene determinada por el SAPI (identificador del punto de acceso al servicio). Para cada TEI se definen los siguientes enlaces lógicos:

- RSL (Radio Signalling Link): es el enlace de señalización radio, que sirve para intercambiar los mensajes de los procedimientos de gestión de tráfico entre el móvil y la red. Existe un RSL por cada TRX.

OML (Operations and Maintenance Link): es el enlace que se utiliza para intercambiar información de operación y mantenimiento del sistema. Es necesario uno por cada TRX y BCF.

- L2ML (Layer2 Management Link): es el enlace de gestión del protocolo de capa 2 y, por tanto, se utiliza para transferir este tipo de mensajes a la BTS. Debe existir uno por TRX y BCF.

En la figura 41 se muestra un ejemplo de los canales de señalización necesarios entre una BTS y un BSC.

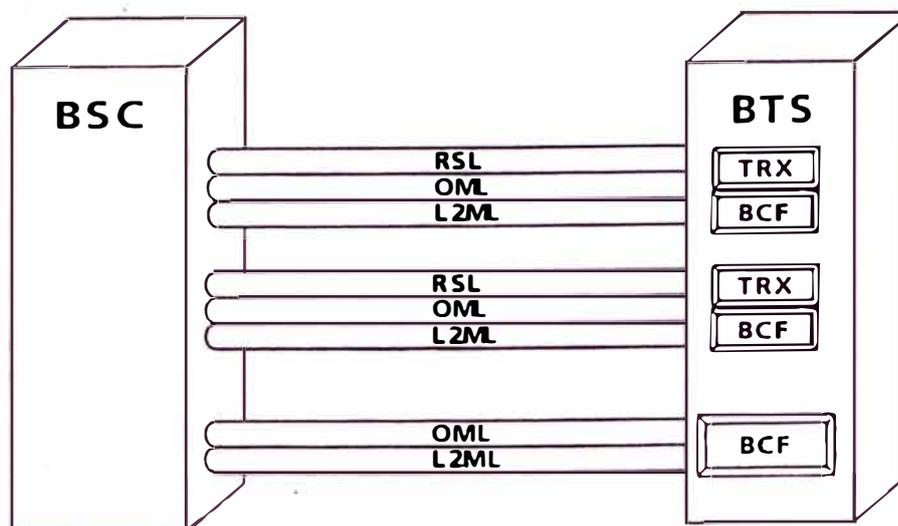


Fig. 41

5.2.3. Topología de conexión

A.- Introducción

Se denomina topología a la estructura de conexión física de las BTS al BSC. De forma lógica, todas las BTS van unidas directamente al BSC. Sin embargo, esto se puede implementar de formas físicas muy diferentes, tal y como veremos a continuación.

Un elemento muy importante para poder realizar las distintas topologías es el transconector digital, DXX (Digital Cross Connector). El DXX es una entidad que permite combinar intervalos temporales, TS (Time Slot) que le llegan de diferentes enlaces en un único PCM, o en varios, tal y como muestra la figura 42.

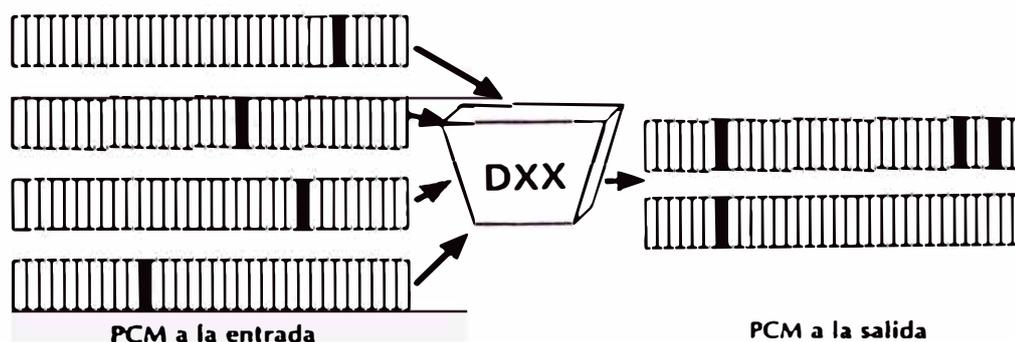


Fig. 42

Como se puede ver en la figura, el DXX permite que cualquier TS de cualquier PCM a la entrada pueda ser transferido a cualquier TS de cualquier PCM a la salida. En el ejemplo se han puesto 4 enlaces a la entrada y dos a la salida, pero estos números pueden variar.

Para acometer estas funciones, el DXX realiza conexiones semipermanentes, NUC (Nail-Up Connections) entre los TS de entrada y los de salida. Una NUC consiste en conectar dos TS de forma que a efectos lógicos se comporten como un Único canal. Esta unión no es definitiva, pudiendo deshacerse en cualquier momento que el operador lo desee.

No todas las BTS requerirán esta función (que se pueden implantar como un nodo independiente), tan sólo aquellas que deban transmitir hacia el BSC sus propios canales y los de otras. En aquellas que la necesiten, se podrá implementar de muy diversas formas: desde añadir un equipo adicional que se encargue de estas funciones, hasta mediante un programa informático que se incluya en el equipo de transmisión de la BTS.

En algunos casos, se considera que esta función es parte del BSC y que el equipo incluido en la BTS no es más que una extensión de aquel.

B.- Tipos de Topologías

Todas las BTS van unidas directamente al BSC. Sin embargo, en la práctica hay muchas ocasiones en que la conexión física es diferente. El hecho de que las conexiones físicas no sean siempre directas (conexión en estrella), se debe en gran medida al elevado coste de los enlaces entre BTS y BSC, que la mayoría de los operadores suelen alquilar a proveedores de transmisión y cuyo precio aumenta con la distancia. Generalmente, en una red GSM el número de BTS es muy grande comparado con el número de BSC que se necesita para controlarlas. Por tanto, es frecuente que haya BTS bastante alejadas del BSC al que van conectadas. En estos casos, resulta más rentable económicamente conectar la BTS a otra BTS más cercana y que esta última se encargue de llevar ambos canales al BSC, que realizar una conexión directa. Otro motivo para tener otro tipo de topología diferente de la estrella es la fiabilidad de la red, es decir, evitar que con el corte de un enlace se pierda la comunicación con la BTS. Para ello deberán realizarse topologías que proporcionen un camino alternativo hacia el BSC.

B.1. Conexión en estrella (figura 43)

En este caso, la configuración física coincide con la lógica: todas las BTS van directamente conectadas al BSC. Se suele utilizar en zonas donde las BTS tienen bastantes TRX, pero su tráfico no supera un enlace de 2 Mbit/s, también en zonas donde la distancia entre BTS y BSC es relativamente pequeña. Por tanto, es una de

las configuraciones más utilizadas en las grandes ciudades, donde el BSC al que van conectadas las BTS está en la misma ciudad.

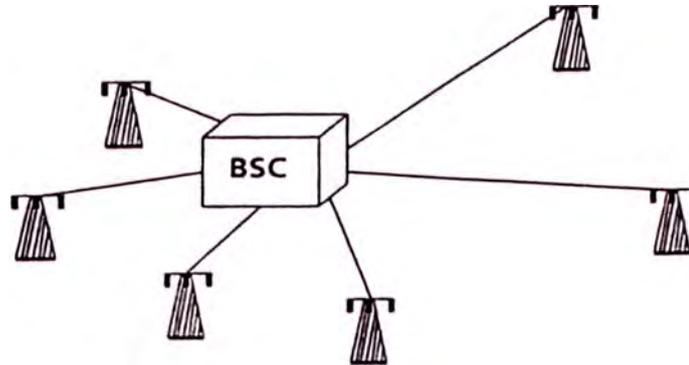


Fig. 43

B.2. Configuración en estrella remota (figura 44)

Este tipo de conexión consiste en que una BTS actúa como concentrador de otras cercanas a ella. Es indicado para zonas alejadas del BSC que no tienen excesivo tráfico. Debe tenerse en cuenta que esta configuración tiene el riesgo de que si se corta el enlace entre la BTS (que actúa como intermediaria hacia el BSC) y el BSC, se perdería la cobertura en toda la zona. Para tratar de minimizar este impacto, se pueden concentrar grupos pequeños de BTS.

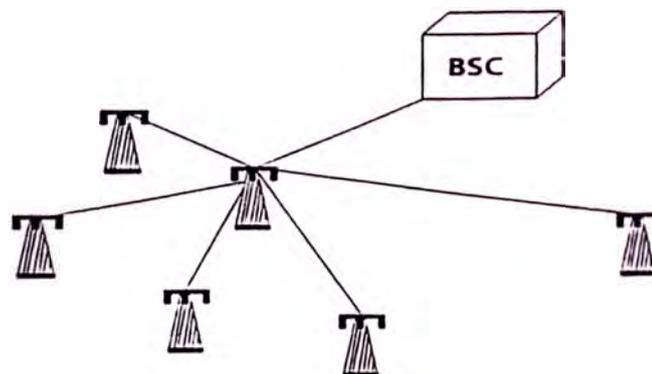


Fig. 44

B.3. Conexión en cascada (figura 45)

La conexión en cascada permite un ahorro muy grande en el coste de los enlaces, ya que se trata de optimizar la mínima distancia entre BTS. Sin embargo, tiene un inconveniente grande y es que cuanto mas alejada este la BTS del BSC en la cadena, la probabilidad de fallo se va multiplicando por el número de eslabones, de forma que si el fallo se produjera en la parte más cercana al BSC, se perdería la cobertura de todas. Será tarea del operador valorar el ahorro en coste frente al riesgo de perder dicha cobertura.

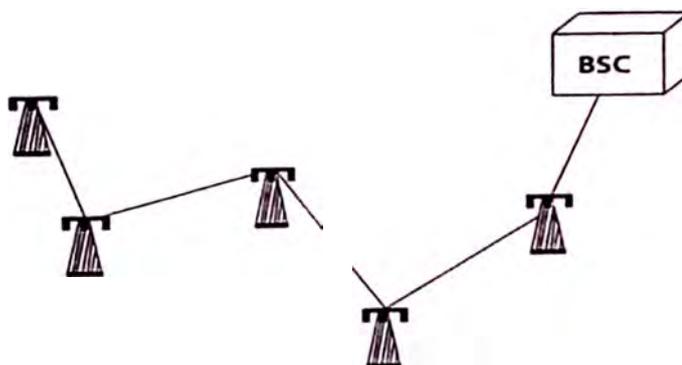


Fig. 45

B.4. Configuración en anillo (figura 46)

Esta configuración es la que ofrece mayor seguridad, ya que proporciona un camino alternativo para cada BTS. Se puede configurar el sistema de forma que la información intercambiada con cada BTS se divida en los dos caminos. Así, cuando se produce el corte de un enlace, se salvará la mitad del tráfico. Si además se utilizan dispositivos inteligentes, capaces de reencaminar el tráfico por la parte que no se ha interrumpido, se podrá salvar todo el tráfico.

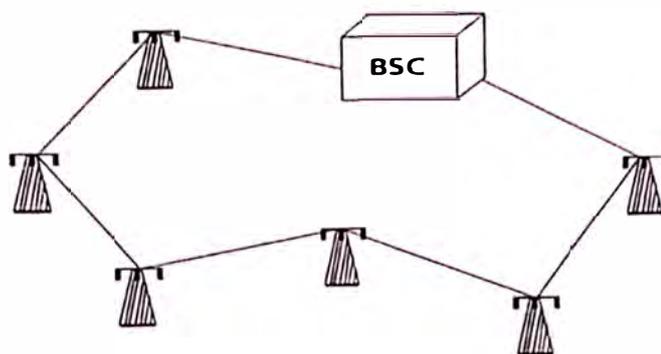


Fig. 46

En general, en una red GSM, podremos encontrar todos los tipos de topologías, según cual sea la más conveniente en cada caso. Para ello habrá que valorar factores como coste de transmisión, tráfico en la zona, fiabilidad, etc. La figura 47 muestra un ejemplo de una red con varias topologías.

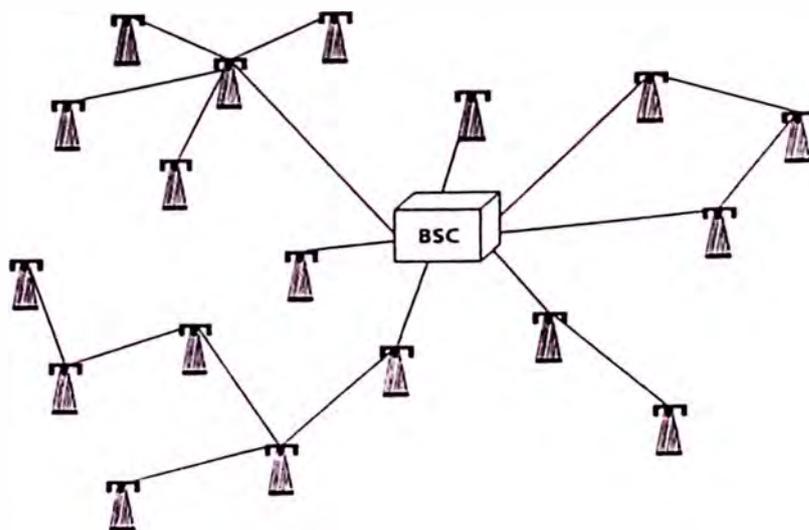


Fig. 47

5.3. INTERFAZ BSC-TRAU

5.3.1. Introducción

Esta interfaz no tiene un nombre específico, ya que no está contemplada en las recomendaciones GSM. Su aparición se produce porque existe la posibilidad de que la TRAU sea un equipo separado dentro del subsistema BSS. Es muy importante desde el punto de vista de transmisión.

En realidad, desde el punto de vista lógico, la única interfaz que se contempla es la que existe entre BSC y MSC, siendo los tramos BSC-TRAU y TRAU-MSC dos soportes físicos de una misma interfaz lógica. El nivel físico de ambas interfaces está constituido por enlaces de 2 Mbit/s acordes a la recomendación G.703 del CCITT.

Un BSC puede estar conectado a varias TRAU. De hecho, cada TRAU sirve a un enlace de 2 Mbit/s proveniente del BSC. En el momento en el que el BSC requiera más enlaces, que es lo habitual, se necesitarán más TRAU.

En los siguientes apartados se estudiarán diferentes aspectos de esta interfaz, que al no tener un estándar puede variar mucho de unos fabricantes a otros. Se comentarán las características comunes.

5.3.2. Canales

Los canales que atraviesan esta interfaz pueden dividirse en señalización, voz y datos.

A.- Canales de señalización

Existen tres tipos diferentes de señalización que atraviesan esta interfaz:

- Señalización BSSAP: son los mensajes que intercambian el BSC y el MSC relativos al servicio, por ejemplo, para establecer una llamada, gestión de servicios suplementarios, procedimientos de actualización de posición, etc. En general, es suficiente con un canal de 64 kbit/s, aunque dependiendo de las necesidades se pueden definir más. La TRAU se comporta de forma transparente con este tipo de canales, dejándolos pasar sin modificarlos.
- Canales de operación y mantenimiento: son mensajes entre el BSC y el OMC que utilizan el protocolo BSSOMAP y que permiten supervisar y controlar todos los elementos del BSC desde el centro de operación y mantenimiento. Con este tipo de mensajes, al igual que con los anteriores, la TRAU se comporta de forma transparente. La capacidad necesaria también suele ser de un canal de 64 kbit/s.
- Señalización entre BSC y TRAU: aunque la TRAU pueda existir como un equipo separado, el control del mismo corresponde al BSC. Con este propósito, es necesario habilitar un canal de comunicación entre ambas entidades. Dado que esta interfaz depende del fabricante, la capacidad necesaria para transmitir este tipo de mensajes podrá variar, aunque se puede decir que estará en torno a un canal de 64 kbit/s.

La TRAU dejará pasar de forma transparente los intervalos de tiempo de un PCM que correspondan a señalización BSSAP y de operación y mantenimiento, sin ningún tipo de transformación. Sin embargo, el canal de control de la TRAU será analizado y no pasará hacia el MSC.

En la figura 48 se muestra un esquema con los diferentes mensajes de señalización que atraviesan la interfaz entre TRAU y BSC. La interfaz entre el BSC y el centro de operación y mantenimiento se puede implementar de dos formas:

- No existe conexión directa entre el BSC y el centro de operación y mantenimiento, por lo que los mensajes BSSOMAP deben ser encaminados mediante un canal de 64 kbit/s desde el BSC hasta el OMC pasando de forma transparente a través de la TRAU y del MSC. Este es el caso representado en la figura 48.
- Habilitando una conexión directa entre el BSC y el OMC a través de la red pública de conmutación de paquetes X.25.

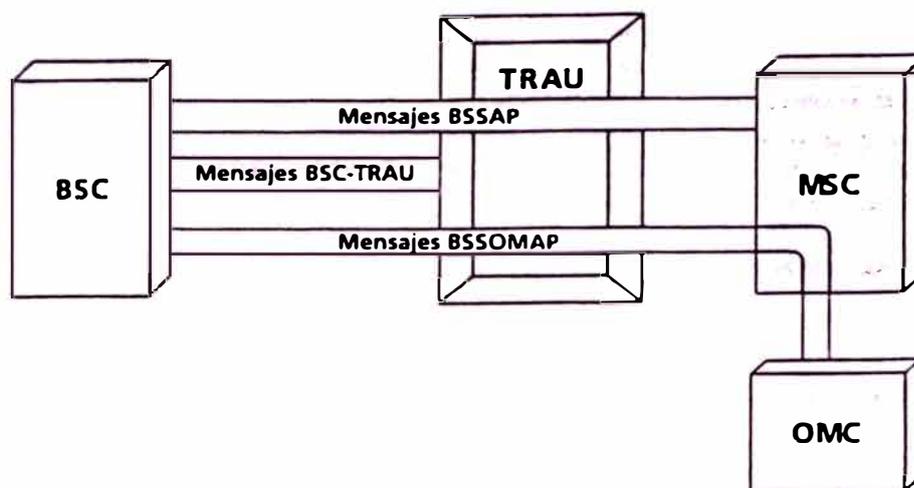


Fig. 48

B.- Canales de Voz y datos

En esta interfaz, los canales conservan la codificación existente en la A-bis, por lo que en un canal de 64 kbit/s cabrán hasta 4 canales de voz o datos. En la otra interfaz de la TRAU (interfaz A con el MSC), la velocidad de transmisión de cada canal de voz o datos será ya de 64 kbit/s.

5.4. INTERFAZ A

5.4.1. División funcional entre BSS y SSS

La interfaz A es la interfaz existente entre el MSC y el BSC. En GSM se ha especificado esta interfaz de forma que se pueda configurar de formas muy distintas. Por ejemplo, la localización física del transcodificador / adaptador de velocidades (TRAU), que puede estar integrada en el BSC o muy próxima al MSC.

El sistema de transmisión de esta interfaz está constituida por enlaces digitales de 2048 kbit/s, realizados mediante sistemas PCM, que constan de 32 canales de 64 kbit/s, de los cuales 31 pueden ser utilizados para voz o señalización, según se desee (el canal 0 está reservado para alineación de trama).

En esta interfaz existen una serie de funciones que en ocasiones pueden hacer tanto el BSC como el MSC.

A.- Gestión de canales terrestres

Cada sistema establece un nodo maestro y otro esclavo en la gestión de los canales terrestres (así se denomina a los canales existentes entre BSC y MSC, para distinguirlos de los canales radio). Tanto el MSC, como el BSC pueden ser configurados como maestro o esclavo para la gestión de estos canales.

- Asignación de canales terrestres: Dentro de la ruta que une el MSC con el BSC, los canales se configuran de diferentes formas, de manera que no todos soportan cualquier tipo de tráfico (por ejemplo, llamadas de datos o conexiones de velocidad mitad). La entidad encargada de asignar un canal para una determinada comunicación, que podrá ser tanto el MSC como el BSC, deberá asegurarse de que

dicho canal sea capaz de soportar el tipo de comunicación que se va a establecer por él. En la práctica, generalmente es el MSC quien asigna este tipo de canales.

· Bloqueo de canales terrestres: un canal se puede bloquear por distintos motivos, por ejemplo, porque tenga mala calidad. En un enlace entre MSC y BSC, tanto el maestro como el esclavo pueden bloquear un canal. En el caso de que sea el esclavo, deberá pedirle al maestro de forma remota que lo haga. Los canales bloqueados no se asignarán para ninguna comunicación.

B.-. Gestión de canales radio

Son todas las funciones que permiten la gestión de los canales radio dependientes de las BTS conectadas al BSC. En este tipo de funciones el MSC no tiene responsabilidad, aunque en algunos casos la acción se realice por indicación suya.

B.1. Gestión de la configuración del canal

Se realizará entre el BSS y el centro de mantenimiento.

B.2. Gestión de los canales de tráfico

Dentro de este apartado, se engloban varios procedimientos:

a) Asignación de canales radio: el BSS debe proporcionar el canal radio necesario para la conexión que se requiere. Para ello se basa en los parámetros que le envía el MSC como el tipo y la codificación del canal. El canal radio deberá ser conectado de forma apropiada con los canales terrestres.

b) Supervisión del enlace radio: la vigilancia de los canales dedicados de radio es responsabilidad del BSS, de forma que si se pierde la comunicación, éste deberá proporcionar los mecanismos necesarios para conseguir que la llamada se libere.

- c) Gestión del salto de frecuencia : el BSS deberá almacenar y transmitir a las celdas todos los parámetros relacionados con el control de esta funcionalidad, de forma que su realización sea transparente en la interfaz A.
- d) Observación de los canales libres (idle): el BSS deberá medir la calidad de estos canales y enviar un informe al MSC.
- e) Control de potencia de los canales de tráfico: toda la gestión relacionada con la potencia debe realizarse entre el móvil y el BSS.
- f) Liberación de canales: en general, es el MSC quien solicita la liberación de un canal.

Sin embargo, también es posible que sea el BSS quien realice esa petición si se dan determinadas circunstancias relacionadas con la propagación.

B.3. Gestión del BCCH y CCCH

Todos los datos del BCCH deben estar en el ámbito del BSS. Los accesos aleatorios de CCCH también deben ser controlados por el BSS de forma autónoma. Sin embargo, los mensajes de aviso a un móvil son recibidos del MSC y traspasados al móvil.

B.4. Gestión de DCCH

Dentro de la gestión de los canales dedicados, encontramos varios procedimientos:

- a) Supervisión del enlace DCCH: es responsabilidad del BSS. Si se pierde la comunicación radio, el BSS puede solicitar la liberación del circuito.
- b) Liberación del canal DCCH: las responsabilidades son las mismas que las explicadas antes con los canales de tráfico.
- c) Control de potencia del DCCH: idéntico al caso del canal de tráfico

d) **Asignación de recursos radio:** el BSS deberá elegir el DCCH que se debe utilizar en la celda apropiada, que será conectado al correspondiente canal terrestre para poder establecer la comunicación.

C.- Indicación de recursos

El BSS deberá informar al MSC sobre el estado de los canales radio que estén libres.

D.- Codificación y decodificación de canal

La información que se transmite en un canal radio debe ser codificada y decodificada para protegerla frente a posibles errores de transmisión. Se dispone de diferentes codificaciones y formas de entrelazado dependiendo del tipo de canal lógico.

Estas funciones, junto con la de entrelazado, deben ser realizadas por el BSS. La información para saber que tipo de codificación de canal y de entrelazado debe realizar, la obtiene del MSC.

E.- Transcodificación/Adaptación de velocidad

Debe realizarlas el BSS en base a la información recibida por el MSC.

F.- Función de intercomunicación para llamadas de datos

Debe realizarse en la parte del MSC de la interfaz A.

G.- Medidas

Existen tres tipos de información referente a las medidas:

Medidas remitidas por el móvil: la información de medidas que envía el móvil mientras utiliza un canal dedicado debe procesarse en el BSS. El resultado debe transmitirse al MSC.

- Medidas del enlace ascendente: también deben ser procesadas por el BSS y enviado el resultado al MSC.

Información de tráfico: el MSC dispone de resultados de medidas de tráfico de varios BSS.

H.- Traspaso

Los traspasos internos y externos del BSC, pueden producirse por diversos motivos, entre los que se encuentran la propagación radio, la distribución de tráfico y la actividad de la interfaz de operaciones y mantenimiento. Podemos distinguir varios puntos:

- Traspaso interno dentro de la misma celda: debe ser soportado de forma opcional por el BSS, quien deberá informar posteriormente al MSC. Un motivo por el que deba cambiarse el canal asignado a un móvil dentro de una misma celda es un elevado nivel de interferencia cocanal en esa portadora.
- Traspaso interno entre celdas: debe ser soportado por el BSS. El MSC deberá ser informado posteriormente. Como nota curiosa, se cita que según las recomendaciones GSM no es obligatorio que un BSC soporte traspaso entre las celdas de su área de influencia, aunque en la práctica siempre sea así.
- Traspaso externo: un traspaso externo puede ser generado por motivos radio o de tráfico (al igual que uno interno). Los motivos radio están relacionados con la cobertura de la celda, por ejemplo, calidad de la señal, nivel de potencia recibida,

distancia entre el móvil y la BTS, etc. En este caso, el BSS deberá ser capaz de generar una indicación hacia el MSC para informarle de que es necesario realizar un traspaso de este tipo. En cuanto a la forma de implementar este algoritmo, se deja a la elección del suministrador.

Un traspaso se puede realizar también por motivos de tráfico, por ejemplo el denominado "Directed Retry". Esta funcionalidad consiste en que si un móvil intenta acceder a una celda que tiene ocupados todos sus canales de tráfico, la red sea capaz de asignarle uno que pertenezca a una celda vecina. Es por tanto un procedimiento mediante el cual se persigue que disminuya el bloqueo de llamadas por congestión en la interfaz radio. El BSS deberá ser capaz de generar una indicación hacia el MSC cuando se requiera un traspaso por razones de tráfico. Sin embargo, dentro de un entorno en el que coexistan varios BSSs, sólo el MSC tendrá una visión total de la carga de tráfico y por tanto, en el caso de que el traspaso externo deba realizarse por motivos de tráfico, será el MSC quien deba originarlo.

La elección de la celda destino es tarea del MSC, cuando el traspaso es externo. Para ello, se basará en la información que recibe de los BSC.

Una vez que el MSC ha recibido la indicación de un BSC de que debe realizarse un traspaso externo, deberá decidir si realmente se ejecuta y cuándo. Para ello, dentro del MSC existe una parte dedicada al control de los traspasos, denominada "aplicación para el control del traspaso", HOCA (HandOver Control Application).

I.- Gestión de la movilidad

Todas las acciones relacionadas con la movilidad (actualización de posición, etc.), deben gestionarse entre el móvil y el subsistema SSS, pasando de forma transparente

por el BSS. La única excepción es el procedimiento de aviso a un móvil, que es solicitado por el MSC, pero es el BSS quien programa su realización.

J.- Control de llamada

Las funciones de control y gestión de las llamadas residen completamente en el subsistema SSS.

K.- Seguridad

La seguridad que proporciona GSM tiene los siguientes aspectos:

- Confidencialidad de los datos de usuario y de la información de señalización: el cifrado y descifrado de los datos de usuario, como puede ser una conversación, se realiza en el móvil y en el subsistema BSS, ya que son las entidades donde reside el algoritmo de cifrado (A5). Sin embargo, es el subsistema SSS el que decide la versión del algoritmo A5 y la clave de cifrado Kc que se utilizará cada vez.

Confidencialidad de la identidad del usuario: se consigue transmitiendo en la interfaz radio el TMSI en vez del IMSI. Por parte de la red, la traducción de TMSI a IMSI es tarea del VLR. Esta traducción también la debe poder efectuar el móvil para poder responder cuando la red se refiera a él mediante el TMSI. En la medida de lo posible, ambas identidades se transmitirán por la interfaz BSS - MSC de forma transparente.

Autenticación de usuarios: este proceso se lleva a cabo en el móvil y en el subsistema SSS, de forma que la interfaz entre BSC y MSC se utiliza exclusivamente como transporte de los parámetros necesarios en el proceso.

5.4.2. Unidad de conmutación móvil remota

Las recomendaciones GSM contemplan la existencia de una entidad denominada unidad de conmutación móvil remota, RMSU (Remote Mobile Switching Unit). Su localización física se encuentra entre el MSC y los subsistemas BSS conectados a el, aunque podría considerarse como una parte del MSC controlada remotamente.

El propósito de la RMSU consiste en optimizar el número de circuitos terrestres necesarios entre el MSC y sus sistemas BSS, tanto de tráfico como de señalización. Por tanto, una RMSU se asemeja a un concentrador.

Antes de introducir una RMSU deberán tenerse en cuenta varios factores, como los costes de la planta de transmisión, los costes de operación de la unidad y las funcionalidades de la misma. También deberá tenerse en cuenta la seguridad del sistema, ya que el área gestionada por una RMSU será mucho mayor que la de un único BSC, con lo que si la RMSU fallase, afectaría a una zona mayor.

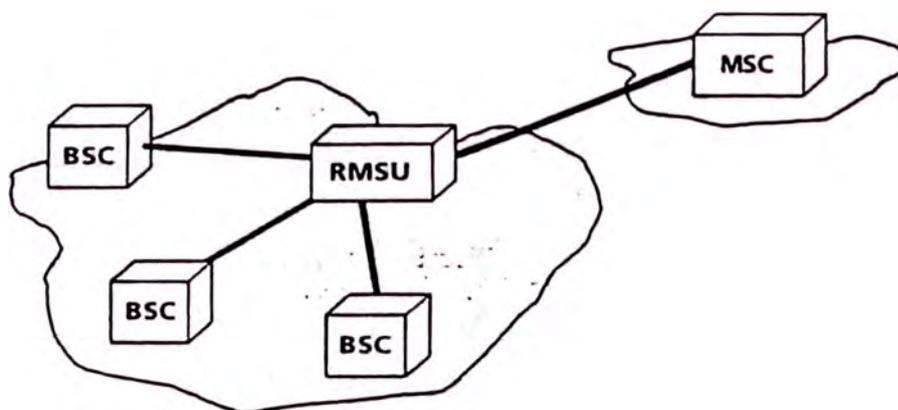


Fig. 49

Dentro de las funciones que puede proporcionar la RMSU se encuentran:

- Establecimiento y liberación de circuitos entre el BSS y el MSC. El MSC controla estos procedimientos de forma remota.

- Conmutación de circuitos entre el MSC y los diferentes BSS conectados a él.
- Bloqueo y desbloqueo de circuitos.
- Funciones de operación y mantenimiento del RMSU.
- Posibilidad de intercomunicación con PSTN e ISDN para llamadas originadas por el móvil directamente desde el RMSU.

5.5. TRANSMISIÓN DE SERVICIOS DIFERENTES A LA VOZ

Nos referimos básicamente a los servicios suplementarios y de datos.

5.5.1. Servicios Suplementarios

Los servicios suplementarios son aquellos que proporcionan un valor adicional a la llamada, como la restricción de la presentación del número que llama, CLIR (Call Line Identity Restriction) o los diferentes tipos de desvío de llamada. En muchas ocasiones, el usuario puede gestionar los servicios que ha contratado mediante su móvil. Este control se realiza entre el móvil y el HLR, por lo que es transparente para los nodos intermedios. Por esta razón, el protocolo utilizado en la interfaz A para la transmisión de este tipo de señalización es DTAP.

5.5.2. Servicios de datos

Para asegurar que la transmisión de los diferentes servicios de datos se efectúa correctamente, deben realizarse las siguientes acciones en el móvil, en el subsistema BSS y en el SSS:

- En el móvil se debe desactivar el codificador de voz, ya que se van a transmitir datos. A continuación, debe activarse la función de adaptación de velocidades

adecuada para el tipo de datos a transmitir. También deberá activarse una codificación de canal apropiada.

El subsistema BSS deberá activar un codificador de canal y una función de adaptación de velocidades apropiada.

El subsistema SSS deberá desactivar cualquier dispositivo de control de eco eléctrico, EEC (Electric Echo Cancellation) y seleccionar una función de interfuncionamiento adecuada.

CAPÍTULO VI

ANÁLISIS DEL SUBSISTEMA SSS

6.1. EL SUBSISTEMA DE CONMUTACIÓN

Podemos decir que el subsistema de conmutación, SSS (Switching Subsystem), es la parte de la red GSM que incluye las funciones necesarias para conmutar llamadas y las bases de datos propias del sistema que permiten el establecimiento de las mismas. Por tanto, de una u otra manera este subsistema debe ser considerado el corazón de la red GSM. Sus interfaces se muestran en la figura 50.

El subsistema BSS está formado por el conjunto de los BSC y BTS de la red GSM. El subsistema OSS se encarga de todas las tareas de operación y mantenimiento de la red y, por tanto, también forma parte de la misma.

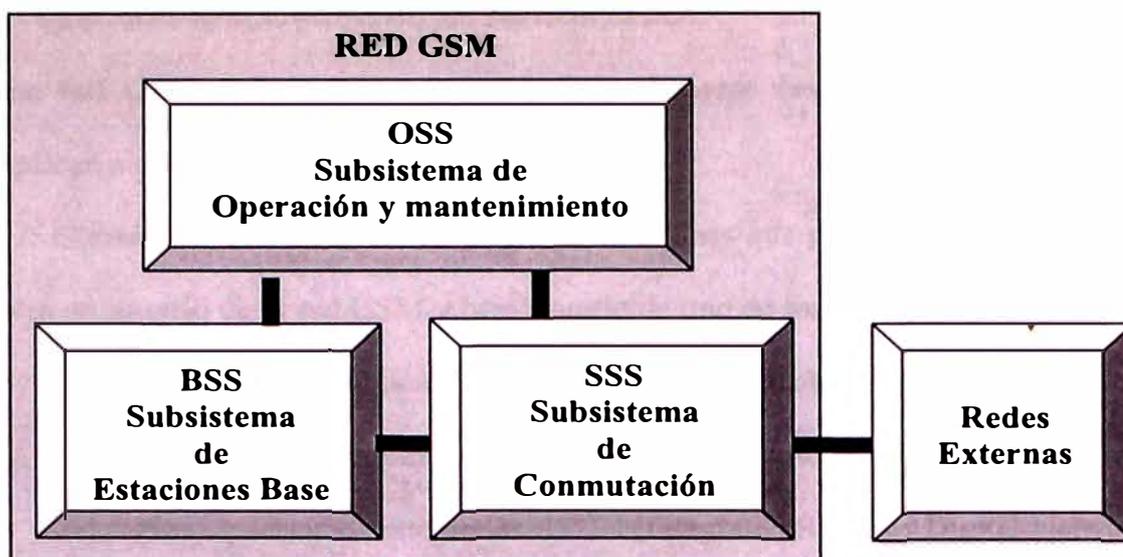


Fig. 50

El subsistema de conmutación es el nexo de unión de la red GSM con el resto de redes externas, tanto fijas como móviles, públicas o privadas. También es la parte de la red donde se implementan la mayoría de los servicios que ofrece el operador. Dentro de sus funciones también están las de proporcionar una comunicación segura para los usuarios y la tarificación de las llamadas.

6.1.1. Funciones de red

Las funciones que debe ser capaz de proporcionar la parte fija de una red móvil se pueden clasificar de la siguiente forma:

- . Funciones para provisión del servicio básico
- . Funciones para soportar la estructura celular
- . Funciones adicionales para la gestión de llamadas
- . Funciones para la gestión de la red

A continuación vamos a ver en detalle cada una de ellas.

A.- Funciones para la provisión del servicio básico.

Una red GSM debe poder ofrecer obligatoriamente las funcionalidades que se explican a continuación:

A.1. Gestión de llamadas: Es un grupo de funciones que permiten la comunicación entre un usuario de la red GSM y otro usuario de uno de los siguientes tipos de red:

Otras redes móviles publicas, PLMN (Public Land Mobile Network)

Red telefónica publica conmutada, PSTN (Public Switched Telephone Network)

Red digital de servicios integrados, ISDN (Integrated Services Digital Network)

Red publica de datos de conmutación de paquetes, PSPDN (Packet Switched Public Data Network)

Red de datos pública de conmutación de circuitos, CSPDN (Circuit Switched Public Data Network).

Tienen en cuenta todos los procesos de tarificación, de gestión del protocolo MAP entre nodos de comprobaciones antes de permitir que una llamada se establezca, etc.

A.2. Autentificación de la identidad de usuario: consiste en asegurar que el usuario que quiere utilizar la red está autorizado para hacerlo.

A.3. Llamadas de emergencia: todas las redes GSM deben permitir una gestión eficaz de este tipo especial de llamadas que no requiere intervención del protocolo MAP y que tiene prioridad frente a las demás. La llamada debe encaminarse al centro de emergencia más cercano de donde se encuentre el móvil. Una posibilidad para hacer esto, es conocer la identidad de la celda desde la que se estableció la llamada.

A.4. Servicios Suplementarios, SS (Supplementary Services): la red debe poder proporcionar servicios suplementarios a los clientes, lo que requiere procedimientos específicos en los diferentes tipos de nodos para poder controlar dichos servicios.

A.5. Servicios de grupo de voz: se dividen en dos tipos de servicios:

- Servicios de llamadas de grupo de voz, VGCS (Voice Group Call Service): son servicios de llamadas entre un grupo de usuarios.
- Servicios de difusión de voz, VBS (Voice Broadcast Service): permiten que la voz (u otro tipo de señales que se puedan transmitir vía el códec de voz) que genera un usuario del servicio, se difunda en un área geográfica predefinida. La difusión se realizara a todos o a una parte de los usuarios del servicio que se encuentran en dicho área. Se está pensando en realizar un servicio similar para datos, pero todavía no se ha definido.

Para ambos es necesario establecer procedimientos de control entre los nodos GSM. Estos servicios entran dentro de las especificaciones GSM 2+.

A.6. Servicios de mensajes cortos, SMS (Short Message Service): permiten la transmisión de mensajes cortos en ambos sentidos, entre un móvil y el centro servidor de mensajes cortos, SMSC (Short Message Service Centre o simplemente Service Centre, SC).

A.7. Confidencialidad de los elementos de información de señalización: permite la confidencialidad de la información de señalización que se transmite en los canales de la interfaz radio.

B.- Funciones de red para soportar la operación entre celdas.

- Registro de posición: son los procedimientos mediante los cuales las bases de datos de la red (VLR y HLR) guardan de forma actualizada la posición en la que se encuentran los móviles. De esta forma, por ejemplo, cuando se reciba una llamada para uno de ellos, la red sabrá hacia dónde dirigirla.

- **Traspaso:** dado que la red GSM es una red celular, debe soportar que un móvil pase de una celda a otra con una llamada en curso, sin que esta se corte. Estas acciones las permiten los procedimientos de traspaso de llamadas.

Restablecimiento de la llamada: son los procedimientos que permiten que una llamada en curso se vuelva a establecer cuando se pierde el canal de tráfico (por ejemplo al realizarse un traspaso entre celdas).

C.- Funciones adicionales para la gestión de llamadas

- **Formación de colas de llamadas "Queuing":** de forma opcional la red puede realizar esta función tanto para llamadas originadas como terminadas en móvil. Para llamadas originadas en móvil, la puesta en cola se detecta como un retraso en el establecimiento de la llamada.

OACSU (Off Air Call Set Up): esta funcionalidad tiene el objetivo de ahorrar recursos radio. Consiste en asignar el canal de tráfico justo en el instante en el que el usuario llamado contesta, y no antes. Cuando el canal de tráfico se proporciona antes de este momento, se denomina asignación temprana (Early Assignment).

- **Servicios relacionados con la seguridad:** la red GSM deberá proporcionar distintos tipos de confidencialidad, entre los que se encuentran: la identidad del usuario, los datos del usuario y los elementos de información de señalización. Para ello dispone de mecanismos de cifrado.

Recepción discontinua, DRX (Discontinuous Reception): esta función, que es obligatoria para la red, pero no para el móvil, permite ahorrar batería a este último, ya que se minimiza la información que el móvil ha de recibir y por tanto, la demodulación y el análisis de la misma.

- Transmisión discontinua, DTX (Discontinuous Transmission): es una técnica que permite reducir el nivel de interferencia en la interfaz radio y conlleva un ahorro en el consumo de batería del móvil.
- Soportar DTMF (Dual Tone Multi Frequency): son tonos generados al pulsar las teclas de los teléfonos, que permiten controlar determinados servicios (por ejemplo, aquellos en los que se pide al usuario que elija una opción y pulse el número correspondiente).

D.- Funciones para la gestión de la propia red

Son las funciones relacionadas con la operación y el mantenimiento de la red.

6.1.2. Componentes del subsistema de conmutación

En este apartado se tratarán en detalle todos los nodos susceptibles de formar parte de la red fija de un sistema GSM. Algunos de ellos son imprescindibles en una red móvil, otros son comunes a las redes fijas y otros son opcionales.

En la figura 51, podemos ver los componentes principales del subsistema de conmutación. Todos los elementos representados están definidos por las especificaciones GSM. No obstante, la parte fija de una red GSM, contiene otra serie de nodos que no son exclusivos de este sistema, pero que son necesarios para dotar al mismo de servicios adicionales. Por esta razón, aunque no se hayan representado en la figura 51, se hablará también de ellos en los apartados siguientes.

La figura 51 muestra los flujos de información entre los diferentes elementos: con línea continua la transmisión de voz o datos y con línea discontinua la señalización, pudiendo ser ésta de cualquier tipo, es decir SS7 o MAP.

No se ha representado ninguna conexión con redes externas.

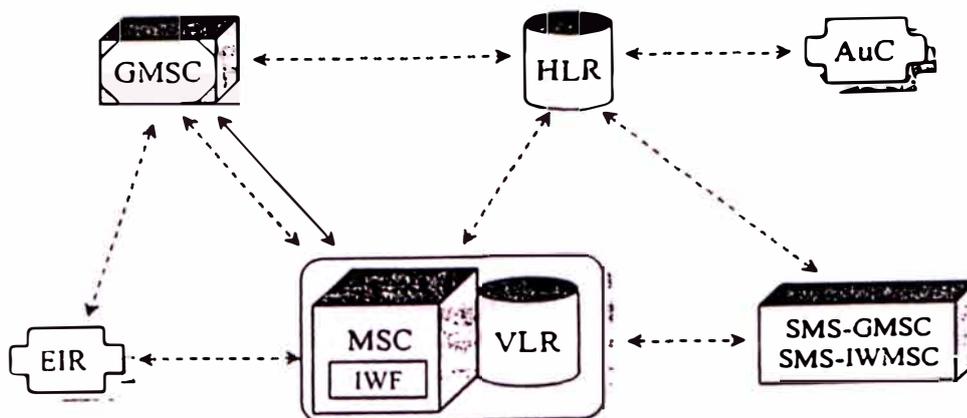


Fig. 51

A.- MSC/VLR

Ambos son imprescindibles para la existencia de la red GSM. Aunque funcionalmente son diferentes, se les suele tratar conjuntamente ya que están íntimamente relacionados. EL MSC (Mobile Switching Center) es el nodo que contiene las funciones de conmutación y señalización básicas, es decir, su principal misión consiste en la gestión completa (establecimiento, encaminamiento, control y finalización) de las llamadas desde y hacia usuarios GSM.

El VLR (Visitors Location Register) es una base de datos en la que se guarda información temporal de cada cliente que se encuentra en el área de influencia de los MSC a los que está asociado (las especificaciones GSM permiten que un VLR este asociado a un único MSC o a varios). El VLR intercambia información frecuentemente con el HLR. En un apartado posterior de este mismo capítulo, se estudian en detalle ambas bases de datos y los parámetros que guardan cada una de ellas.

Para el VLR, todos los clientes bajo su área de influencia son visitantes. El tipo de información que guarda de cada uno de ellos es variada: desde datos de identificación del usuario como el IMSI o el TMSI, datos que permiten el encaminamiento de llamadas como el MSRN, datos de suscripción como servicios contratados, datos relativos a la seguridad como las tripletas de autenticación, etc.

Como ya se ha comentado, según las especificaciones cabe la posibilidad de que varios MSC estén asociados a un único VLR. Sin embargo, en la práctica, lo más común es que el VLR esté asociado a un único MSC.

Suponiendo que el VLR y el MSC fueran físicamente nodos diferentes, el intercambio de señalización entre ambos para cada llamada sería muy elevado, por lo que normalmente se fabrica un nodo MSC/VLR, donde ambos están integrados e interaccionan de forma interna, sin que sean necesarios señalizadores intermedios. Otra ventaja de hacer nodos integrados de este tipo, radica en que los suministradores pueden definir un protocolo propietario entre el MSC y el VLR, que normalmente será una variante de MAP.

Otro cometido del MSC es la realización de trasposos entre dos BSC que estén conectados a él o a otro MSC. Para ello, el MSC tiene una parte exclusivamente dedicada a este propósito, que se denomina aplicación de control de trasposos, HOCA (HandOver Control Application). El MSC también debe proporcionar el control de la autenticación y de la actualización de posición de los móviles, la prestación de servicios suplementarios y la tarificación de las llamadas.

El MSC constituye la interfaz entre el sistema radio y la red fija. Por tanto, una de las fronteras del MSC es siempre el subsistema BSS, en forma de uno o varios BSC, dependiendo el número de los mismos, de la tecnología y estrategia elegidas por el

operador móvil. El resto de las fronteras pueden ser otros nodos internos o externos a la red GSM.

La cobertura de un MSC puede ser muy diversa y se denomina área del MSC. Un área de MSC puede estar formada por una o varias áreas de localización LA.

A la hora de elegir entre MSC grandes o pequeños, debe sopesarse la ventaja económica asociada a los de mayor tamaño frente al peligro que supondría que uno de ellos quedara fuera de servicio y los clientes de su VLR no pudieran realizar ni recibir llamadas mientras durase la avería.

B.- HLR

El HLR es una base de datos inteligente en la que se guarda información estática relativa al servicio de todos los clientes de la red GSM y también información dinámica relativa a los mismos, como el VLR en el que se encuentran. Para dar de alta a un nuevo cliente en la red, es necesario introducir un registro con sus datos en el HLR.

Conceptualmente, existe un único HLR por red GSM. Sin embargo, en la práctica, puede estar distribuido dependiendo de la cantidad de clientes de la red, de la capacidad de los nodos o bien por razones de seguridad. Otra opción es disponer de HLR gemelos o redundantes como medida de precaución.

Entre los datos que guarda el HLR, se encuentran el MSC y VLR actuales, los teleservicios y servicios portadores contratados por el cliente, cuáles de ellos están activos y datos adicionales a los mismos como el número C en el caso de desvío de llamada y las tripletas de autenticación. Para direccionar el registro de un usuario,

el HLR utilizará siempre la identificación del mismo (IMSI) o su número de teléfono (MSISDN).

Los nodos con los que el HLR se comunica directamente y siempre en forma de señalización son los VLR (por ejemplo, para actualizar la posición del móvil), el AuC que le proporciona las tripletas de autenticación y el GMSC, con quien intercambia números de encaminamiento MSRN, necesarios para dirigir la llamada al MSC apropiado.

En la figura 52 se muestran todas las interfaces del HLR y el tipo de información que intercambia con cada una de ellas. En el caso del VLR, la información intercambiada es muy numerosa: parámetros de actualización de posición, copia de datos del cliente en el VLR, procedimientos de cancelación de posición, procedimiento de purga de un móvil en el VLR, tripletas de autenticación, procedimientos de recuperación de fallos, etc.

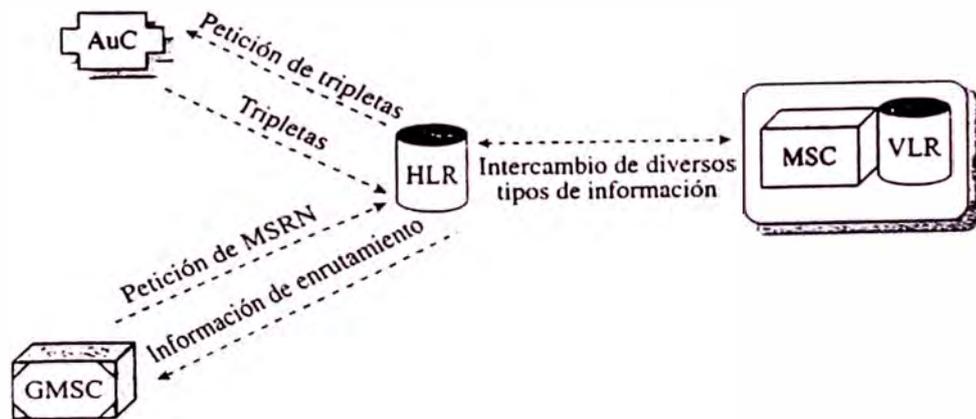


Fig. 52

C.- GMSC

El GMSC (Gateway Mobile Switching Center) es un nodo que permite interrogar al HLR para obtener información de encaminamiento para una llamada dirigida a un móvil. Por tanto, entre sus funciones está la de ser el nexo de unión de la red GSM con otras redes externas.

Quizás el nombre no es muy afortunado, ya que hace pensar en que debe tener VLR ó subsistema BSS asociado, cuando no es necesario, pues estas funciones pueden ser realizadas por un nodo dedicado exclusivamente a la conmutación, eso sí, es imprescindible que pueda interrogar al HLR.

Cuando a la red GSM llega una llamada (desde el exterior o generada en la propia red), hacia un móvil cuya localización no se conoce, dicha llamada se encamina hacia un GMSC, que será el encargado de interrogar al HLR para obtener de él la información de encaminamiento necesaria y luego enviar la llamada hacia el MSC correcto. Se puede ver que el GMSC es el único nodo GSM que puede interrogar al HLR para obtener información de encaminamiento.

El número de GMSC que puede haber en una red GSM puede ser variable: desde uno hasta que todos los nodos puedan interrogar al HLR. La decisión dependerá de la estrategia del operador. Lo más común, es que todos los MSC sean GMSC. De esta manera podrán interrogar al HLR para saber cómo encaminar una llamada que les llega desde un móvil que se encuentra en su área de influencia, sin necesidad de dirigirla a otro nodo para que obtenga esta información. Por esta razón, muchas veces existe ambigüedad entre los términos MSC y GMSC.

En la figura 53 se esquematiza el proceso de obtención de información de encaminamiento.

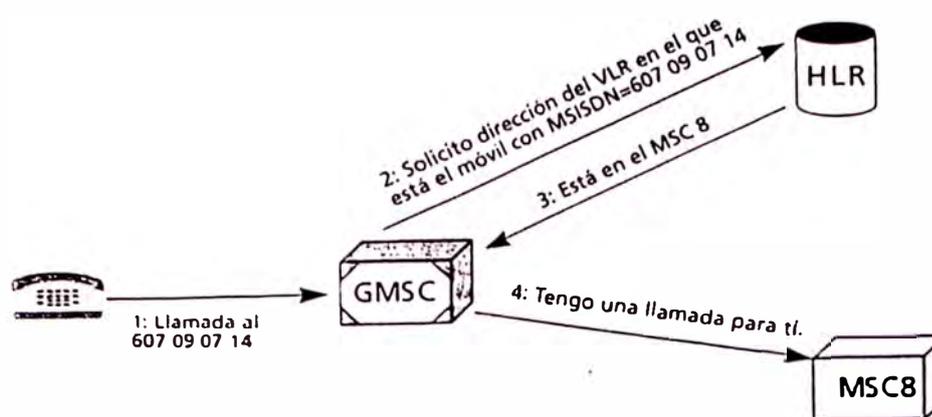


Fig. 53

D.- AUC

El centro de autenticación de la red GSM, AuC (Authentication Center), es una base de datos que se podría considerar conceptualmente como parte del HLR. Sin embargo, en la práctica, puede encontrarse tanto como un nodo aislado como integrado con el HLR. Las especificaciones GSM tratan de separar el concepto AuC del de HLR, lo que va encaminado a dar más importancia a la seguridad, tema clave en redes móviles, en las que la interfaz radio constituye un gran riesgo.

Cuando se da de alta a un nuevo cliente en la red, se le proporciona junto a su IMSI una clave de autenticación individual Ki. La pareja IMSI-Ki quedará almacenada en la SIM por un lado y en el AUC por otro. El AuC producirá un número aleatorio RAND que junto con Ki, se harán pasar por dos algoritmos diferentes, A3 y A8, para obtener la respuesta firmada SRES (Signed Response) y la clave de cifrado Kc. Así, el AUC obtiene las tripletas de autenticación (RAND, SRES, Kc) que enviara al HLR cuando éste se las pida.

Es importante señalar que la clave Ki nunca se transmite a través de la red.

La figura 54 muestra el contenido del AUC y el proceso de petición de tripletas por parte del HLR.

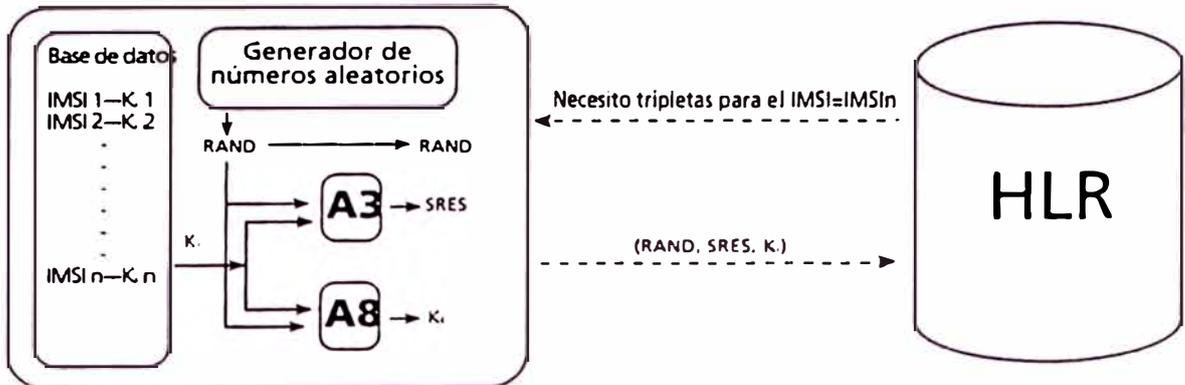


Fig. 54

E.- EIR

El EIR (Equipment Identity Register) es el registro de identificación de equipos. Su función consiste en evitar que se utilicen equipos móviles que no están autorizados en la red, por ejemplo, porque han sido robados o porque pueden producir perturbaciones a la misma.

Para la comprobación se utiliza el IMEI o identificación internacional del equipo móvil. El EIR es básicamente una base de datos que clasifica los IMEI en tres listas:

- Blanca: no tiene ninguna restricción
- Negra: se les impide el acceso a la red
- Gris: degradan la calidad de la red, pero no lo bastante como para impedir que sean utilizados

El EIR va conectado directamente sólo a los MSC y GMSC. Su implementación física consiste en una base de datos con un software de comunicaciones para

establecer el diálogo con el MSC y/o GMSC. Puede encontrarse como nodo aislado, pero también integrado con otros nodos GSM, como el HLR y el AuC.

F.- Nodos relacionados con el servicio de mensajes cortos

GSM ofrece a sus usuarios la posibilidad de tener servicios de mensajes cortos, SMS (Short Message Service). Un mensaje corto es un mensaje de señalización, que aparece en la pantalla del móvil como un texto escrito.

Los mensajes cortos, SM (Short Message) pueden ser de dos tipos: punto a punto o desde la red a un conjunto de móviles ("broadcast"). Dentro de los punto a punto, GSM distingue dos servicios según el móvil envíe, SMS-MO (Short Message Service - Mobile Originating) o reciba, SMS-MT (Short Message Service - Mobile Terminating) el mensaje. Debe indicarse que no todos los móviles disponen de la facilidad de enviar SM.

En la figura 55 se muestra, para cualquiera de los casos anteriores, el camino que debe seguir un mensaje corto entre un móvil y otra entidad capaz de transmitir o recibir mensajes cortos, SME (Short Message Entity).

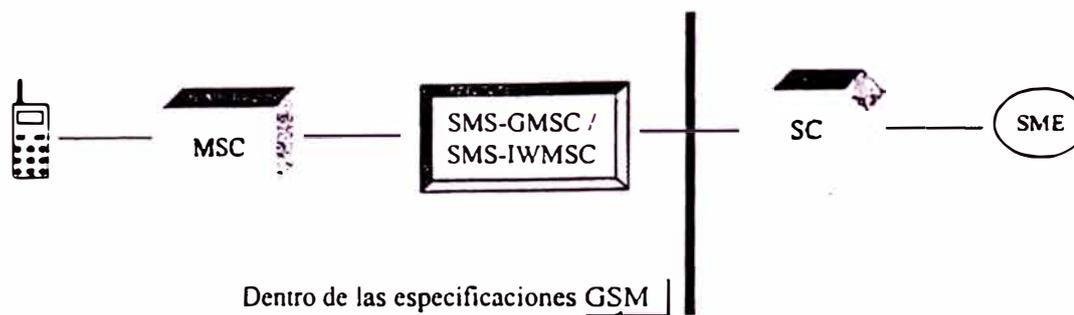


Fig. 55

La SME puede ser un terminal situado en una red externa a la PLMN, un móvil o un centro servidor de mensajes cortos, SC (Service Centre).

Como se aprecia en la figura anterior, el mensaje pasa por tres tipos de nodos funcionales, de los cuales, dos (MSC y SMS-GMSC / SMS-IWMSC) entran dentro de las especificaciones GSM y uno no (SC), aunque deberá cumplir determinados requisitos para poder conectarse con la red GSM. Aunque el SC no sea parte de la red GSM, puede estar integrado físicamente con el MSC.

Lo que en la figura aparece como SMS-GMSC / SMS-IWMSC son nodos funcionalmente distintos del MSC, pero en la práctica pueden coincidir físicamente con el MSC.

Centro Servidor, SC (Service Centre)

El centro servidor es un nodo interno o externo a la PLMN, que debe ser capaz de dirigir y recibir SM hacia y desde móviles. También debe ser capaz de intercambiar mensajes de confirmación de la recepción o envío de los SM con la PLMN. En ocasiones, cuando el SC tiene un mensaje para un determinado móvil, es posible que no se lo pueda entregar directamente, por ejemplo, porque el móvil está apagado. En ese caso, deberá esperar a que esté encendido para enviárselo.

Si esto sucede, la red se lo notificará al SC para que tenga constancia e intente volver a enviárselo más tarde. Para ello, el SC suele disponer de una tabla de reintentos, en la que se especifican los intervalos de tiempo entre los que el SC debe intentar de nuevo el envío.

Un SC puede estar conectado a una o varias PLMN y a uno o varios MSC de una misma PLMN.

SMS-GMSC

Es el nodo que realiza las funciones de pasarela para el servicio SMS - MT, es decir, sólo interviene cuando hay un SM dirigido a un móvil, físicamente, puede ser un MSC cualquiera.

Cuando el SMS-GMSC recibe un SM desde el centro servidor, comprueba que todos los parámetros son correctos e interroga al HLR para que le envíe la información de encaminamiento que necesita para entregar el SM. Con esta información, el SMS-GMSC envía el SM al MSC correspondiente, quien finalmente se lo intentará entregar al móvil.

El SMS-GMSC informará al HLR del resultado de la entrega, tanto si ha sido satisfactoria, como si no. En este último caso, deberá indicar la causa por la que no se ha podido entregar el mensaje, para que el HLR obre en consecuencia y realizar las acciones que considere necesarias, como por ejemplo informar también al SC de la causa del error para que este nodo pueda ajustar su tabla de reintentos.

SMS-IWMSC

Es el nodo que realiza las tareas de interfuncionamiento para el servicio SMS - MO, es decir, sólo interviene cuando hay un SM originado por un móvil.

Cuando un móvil genera un SM, el MSC recibe dicho SM desde el móvil y pide a su VLR asociado información para poder continuar la operación de entrega del SM. Cuando recibe la confirmación por parte del VLR de que todo es correcto, entonces entrega el SM al SMS-IWMSC.

El SMS-IWMSC recibe el SM y establece una comunicación con el SC correspondiente para entregárselo. Una vez que el SC recibe el SM, responderá al

SMS-IWMSC indicándole si todo ha ido bien o si se ha producido algún error. El SMS-IWMSC deberá remitir esta información al MSC donde está el móvil que ha originado el SM.

En el caso de que pase el intervalo de tiempo estipulado por el operador, sin que el SMS-IWMSC reciba contestación del SC, informara al MSC de que ha habido algún error, ya que no ha recibido confirmación del SC.

El SMS-IWMSC tiene otra función, que consiste en avisar al SC de que un móvil para el que tiene guardado un SM, ya está disponible para recibir dicho MS. Cuando el móvil entra en actividad, el HLR es notificado y avisa al SMS-IWMSC para que le comunique al SC que ya puede enviar el SM al móvil. El HLR avisa al SMS-WMSC solo cuando sabe que dicho móvil tiene mensajes cortos por entregar. Esto lo sabe a través de unos indicadores de espera de mensajes, MWI (Messages Waiting Indication), entre los que están las direcciones de los SC que tienen mensajes hacia ese móvil.

G.- El IWF

El IWF (InterWorking Function) es una entidad funcional asociada al MSC. Proporciona los medios necesarios para el interfuncionamiento entre la red GSM y las redes externas fijas (PSTN, ISDN y redes de paquetes PDN). Sus funciones dependerán de los servicios y del tipo de red fija a la que se conecte. Puede que en algunas ocasiones, no aporte ninguna funcionalidad adicional, si ambas redes son compatibles.

H.- VMS

Es el nodo que permite proporcionar el servicio de buzón de voz, VMS (Voice Mail System). Dicho servicio no es exclusivo de GSM, pero el nodo que lo implementa en GSM debe tener sus particularidades al ser sus clientes móviles.

El VMS lleva asociado en algunos casos un pequeño centro de mensajes cortos que utiliza para avisar a los clientes cuando tienen mensajes. En otras ocasiones, el SMSC encargado de esta actividad es el mismo que el que proporciona los servicios SMS-MO y SMS-MT.

Además del servicio de buzón de voz tradicional, se pueden implementar otro tipo de servicios más evolucionados, que hagan uso de este nodo.

I.- Nodos de red inteligente

El auge de los servicios de red inteligente ha sido muy importante en los últimos años y cada vez lo está siendo más, ofreciéndose multitud de nuevos servicios a los clientes. Para poder ofrecer estos servicios son necesarios nodos especiales que los soporten. Estos nodos especiales dependen en gran medida del servicio de que se trate. Sin embargo, no se tratarán aquí.

J.- PABX

Las PABX (Private Automatic Branch Exchange) no son exclusivas de GSM, pero pueden formar parte de la red de conmutación de un operador de GSM. Son centralitas que proporcionan diversos servicios. Son muy comunes las PABX de empresas en las que el servicio que se ofrece es la marcación de extensiones cortas también para teléfonos móviles.

6.1.3. Ejemplo de red de conmutación

En la figura 56 se representa un ejemplo simplificado de lo que podría ser la red de conmutación de un hipotético operador de GSM.

Se puede ver que la red de la figura está formada por 5 MSC/VLR, 2 HLR, 1 VMS, 1 AUC, varias PABX, 1 SC y también se muestran las conexiones con otras redes. Implícitamente se ha supuesto que los nodos MSC/VLR tienen funcionalidad de GMSC, es decir, pueden interrogar al HLR para obtener información de encaminamiento. Esta es la situación más real.

Las conexiones que aparecen con línea discontinua son enlaces de señalización exclusivamente, mientras que las demás transportan voz y señalización.

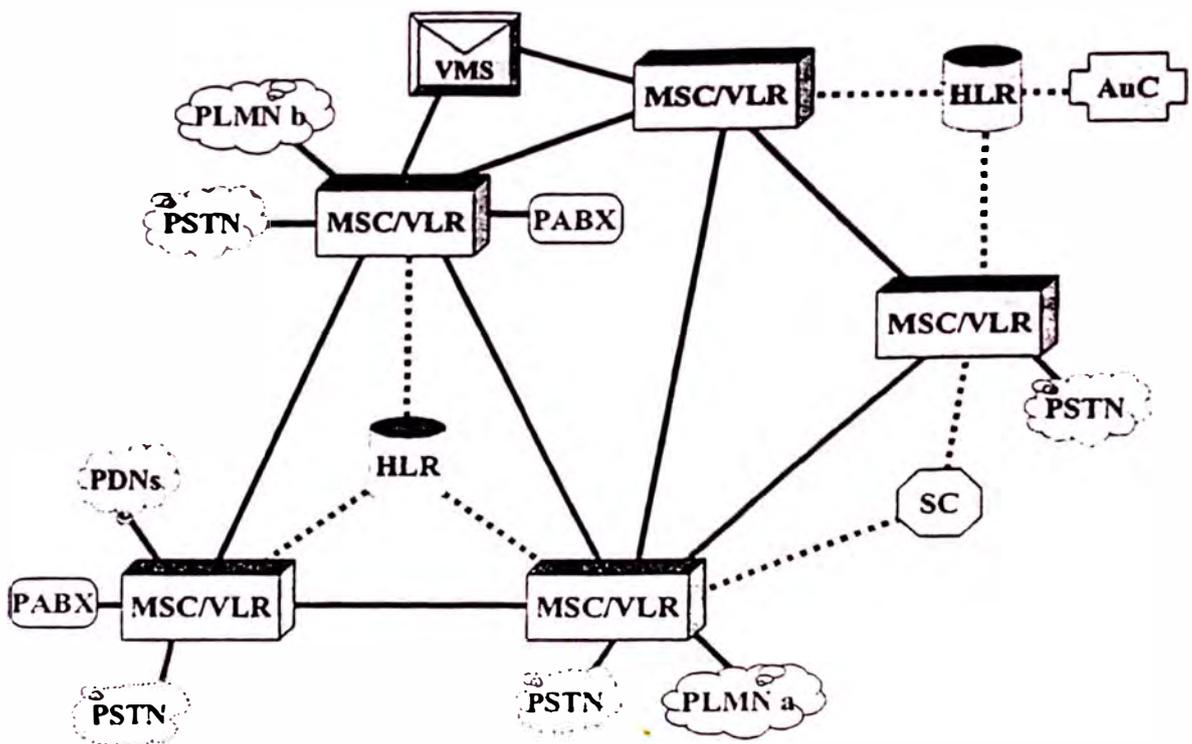


Fig. 56

6.2. INTERFACES DENTRO DEL SERVICIO MÓVIL GSM

Interfaz A (MSC-BSC)

Esta interfaz se utiliza para intercambiar información sobre la gestión del subsistema BSS, de las llamadas y de la movilidad de los móviles. Por ejemplo, a través de esta interfaz, se negocian los circuitos a utilizar entre el BSS y el MSC.

Interfaz A-bis (BSC-BTS)

Es la interfaz entre la estación base y el BSC. Permite el control del equipo radio.

Interfaz B (VLR y MSC asociados)

El VLR es la base de datos que contiene toda la información que permite dar el servicio a los clientes que se encuentran en el área de influencia de sus MSC asociados. Por tanto, cuando un MSC necesite cualquier información sobre un móvil acudirá a su VLR y de la misma manera, le informará debidamente cuando tenga que hacerlo, por ejemplo, al recibir por parte de un móvil una petición de actualización de posición.

En algunos casos, cuando el móvil requiera un servicio especial o cambiar los datos de su suscripción, el MSC informará al HLR, siempre vía el VLR. El HLR guardará los datos y decidirá actualizar los del VLR o no.

Esta interfaz intercambia tal cantidad de señalización, que se recomienda que no sea externa. Ésta es la razón por la que prácticamente todos los fabricantes tienen nodos MSC/VLR integrados.

Interfaz C (HLR-GMSC)

Es la interfaz utilizada por los GMSC cuando necesitan interrogar al HLR para obtener el número de itinerancia MSRN del móvil llamado y poder así encaminar la llamada hacia el MSC destino. No debe confundirse esta interfaz con la D, ya que el GMSC no tiene porqué tener VLR, puede ser perfectamente un nodo que sólo transite llamadas.

Interfaz D (HLR-VLR)

Es la interfaz existente entre el HLR y el VLR. Principalmente sirve para intercambiar información entre ambas bases de datos, relativas a la posición del móvil y a la gestión del servicio contratado por el cliente. Por ejemplo, cuando un móvil entra en el área de influencia de un VLR, este notifica al HLR de que esto ha ocurrido con la información necesaria. El HLR realiza las comprobaciones oportunas e informa debidamente al VLR. El HLR también se encarga de avisar al VLR anterior de que cancele el registro de posición del móvil, pues éste ya se encuentra en otro VLR.

También se utiliza esta interfaz para intercambiar información cuando el móvil requiere un servicio especial, cuando el cliente desea cambiar datos de su suscripción, cuando deben cambiarse datos de la misma por motivos administrativos, para el intercambio de tripletas de autenticación, etc.

Interfaz E (MSC-MSC)

Esta interfaz la utilizan los MSC para intercambiar la información necesaria para iniciar y realizar un traspaso interMSC, con objeto de que la comunicación continúe cuando el móvil cambia de área de influencia de un MSC a otro.

Interfaz F (MSC-EIR)

Se utiliza cuando el MSC quiere comprobar el IMEI de un equipo.

Interfaz G (VLR-VLR)

Se utiliza en el caso de que un móvil inicie la petición de actualización en un nuevo VLR utilizando el TMSI. Siempre que le sea posible, el nuevo VLR obtiene el IMSI y las tripletas de autenticación que le hayan sobrado al VLR anterior a través de esta interfaz.

Interfaz H (HLR - AUC)

Es la interfaz utilizada por el HLR para solicitar tripletas al AUC, cuando no dispone de ellas. El protocolo utilizado para la transferencia de estos datos, no es estándar. Muchas veces, se encuentran nodos HLR/AUC integrados, en los que esta interfaz es interna.

Interfaz Um (BSS - Móvil)

Es la interfaz radio, que se encuentra entre el móvil y el BSS.

En la figura 57 se han representado todas las interfaces anteriores. Como se puede ver, el MSC central tiene un asterisco. Esto indica que en realidad es un GMSC, ya que dispone de interfaz C con el HLR para obtener información de encaminamiento.

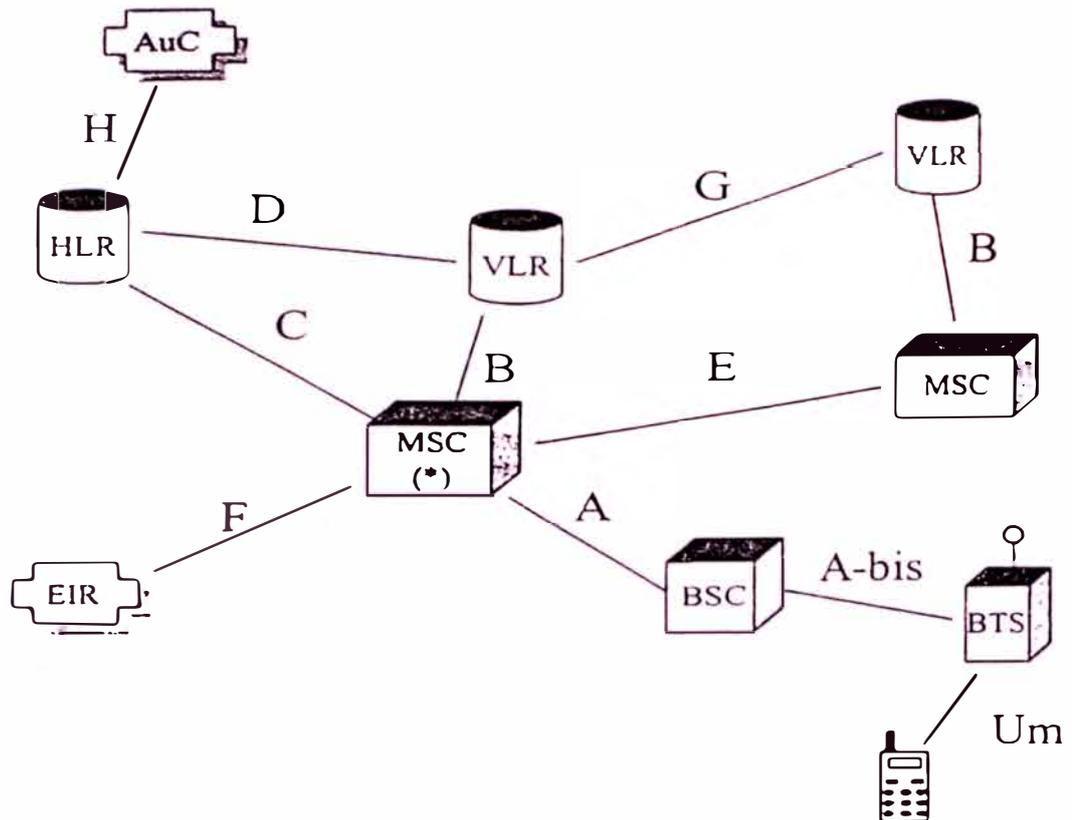


Fig. 57

CONCLUSIONES

1. El estándar GSM define una red telefónica móvil terrestre completa, de naturaleza digital y de servicios integrados, que comprende el acceso radio con estructura celular. La transmisión, conmutación y señalización específicas para soportar las funciones de movilidad y los mecanismos de seguridad para el establecimiento de las llamadas y la protección de la información transmitida durante estas.

2. Una de las más importantes características de GSM es la especificación de interfaces abiertas entre las distintas unidades funcionales de la red, en el marco del modelo OSI y siguiendo la normativa de ISDN para la caracterización de la señalización y las funciones de red. En consecuencia, la PLMN - GSM nace ya como una red digital de extremo a extremo.

Esto implica que el operador de la red no está amarrado a ningún fabricante y con ello conlleva a que la red sea económicamente atractiva en cuanto a las inversiones en infraestructura, costes de equipos móviles y gastos de explotación.

3. Una de las principales logros de la norma es el roaming internacional, es que todo abonado GSM puede efectuar/recibir llamadas en todos los países donde existan redes GSM, con su número personal siempre que la empresa que le brinda el servicio tenga contrato con las demás operadoras.

4 Sin embargo en el aspecto de transmisión de datos, desafortunadamente, usted percibirá una diferencia notable respecto a su servicio fijo, puesto que su comunicación únicamente le proporcionará una velocidad de transferencia nominal de 9,600 kbit/s, y, además, quizá tenga una sorpresa desagradable cuando le cobren por todo el tiempo de duración de su conexión. Ello resume los problemas que han reducido la utilización de los servicios de datos sobre GSM: su gran diferencia en velocidad respecto a los accesos fijos y su coste, fruto de considerar la conexión como orientada a circuitos.

Los **Servicios avanzados de datos en movilidad** engloban básicamente tres tecnologías diferentes: **GSM, GPRS y UMTS**.

La primera de ellas, **GSM** (Global System for Mobile Communications), actualmente en servicio, permite acceder de manera sencilla al mundo de la información principalmente en forma de texto.

La mejora de dicha tecnología es la segunda tecnología. La tecnología **GPRS** (General Packet Radio Service), capaz de proporcionar una velocidad de transferencia de datos mayor que GSM, utiliza el concepto de comunicación por paquetes, en vez de la tradicional por circuitos empleada en GSM. Mientras en circuitos se ocupa el recurso durante toda la comunicación, en paquetes sólo se requieren cuando existe algo que transmitir o recibir.

El incremento de servicios de datos, vídeo y multimedia con anchos de banda elevados vendrá de la mano de tercera generación: **UMTS** (Universal Mobile Telecommunications System).

BIBLIOGRAFÍA

1. Hernando, José M. "Comunicaciones Móviles" Ed. Centro de Estudios "Ramón Areces", 1997.
2. Russell, Travis. "Signalling System #7" Ed. Mc Graw-Hill, 1995.
3. González Villos, Roberto. PFC "Planificación de una red fija GSM", 1996-1997.
4. Walden & Goltermann. "GSM" Pocket guide, 1998.
5. EUROPEAN TELECOMMUNICATIONS STANDARDS INSTITUTE (ETSI) GSM SPECIFICATIONS.
6. INTERNATIONAL TELECOMMUNICATIONS UNION (ITU) Radio communications Sector (ITU-R) Reports and Recommendations Series M (Mobile Services).

CENTRO EDUCATIVO Nº 2025
"INMACULADA CONCEPCIÓN"

VOTA PARA ALCALDE Y REGIDORES

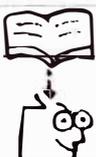
MARCA CON UNA CRUZ O UN ASPA SOBRE EL SÍMBOLO

	MOVIMIENTO INDEPENDIENTE REFORMISTA ESTUDIANTIL
	FUTURO ESTUDIANTIL 2002
	UNIÓN ESCOLAR DEMOCRÁTICA
	MOVIMIENTO DEMOCRÁTICO ESTUDIANTIL
	NUEVA GENERACIÓN ESTUDIANTIL

CENTRO EDUCATIVO Nº 2025
"INMACULADA CONCEPCIÓN"

VOTA PARA ALCALDE Y REGIDORES

MARCA CON UNA CRUZ O UN ASPA SOBRE EL SÍMBOLO

	MOVIMIENTO INDEPENDIENTE REFORMISTA ESTUDIANTIL
	FUTURO ESTUDIANTIL 2002
	UNIÓN ESCOLAR DEMOCRÁTICA
	MOVIMIENTO DEMOCRÁTICO ESTUDIANTIL
	NUEVA GENERACIÓN ESTUDIANTIL