

3.3 GSM

Como en la mayoría de los países comunitarios, GSM en la banda de 1800MHz es la tecnología de acceso radio 2G con mayor implantación. Es por esto por lo que en el siguiente punto se detallarán sus principales características.

3.3.1 Concepto de red de telefonía móvil pública GSM: PLMN-GSM

“Se define la Red del Sistema Global de Telefonía GSM como aquel servicio portador constituido por todos los medios de transmisión y conmutación necesarios que permiten enlazar a voluntad dos equipos terminales móviles mediante un canal digital que se establece específicamente para la comunicación y que desaparece una vez que se ha completado la misma.”

(Consejo Superior de Administración Electrónica - CSAE)

El estándar GSM define una red telefónica móvil terrestre (PLMN) completa, de naturaleza digital y de servicios integrados, que comprende:

- Acceso radio con estructura celular.
- Transmisión, conmutación y señalización específicas para soportar las funciones de movilidad.
- Mecanismos de seguridad para el establecimiento de las llamadas y la protección de la información transmitida durante éstas.

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

3.3.2 Servicios proporcionados por la red PLMN-GSM

Estos servicios serán ofrecidos por el operador de red a los usuarios y constituyen determinadas capacidades de comunicación y de tratamiento de la información. Se catalogan en tres grupos: Servicios Portadores, Tele-servicios y Servicios Suplementarios (*Ref.B-4 y Ref.D-1*).

- Servicios Portadores

Los servicios portadores se establecen entre terminaciones de red en ambos extremos y ofrecen al usuario una capacidad de transporte independiente del contenido de la información, con diversas modalidades de funcionamiento que se especifican mediante los siguientes atributos:

- 1) Atributos de transferencia de información
 - Tipo (voz/datos)
 - Modo (conmutación de circuito o de paquetes)
 - Velocidad de datos (300-9600bps)

- Direccionalidad (símplex, dúplex)
- 2) Atributos de acceso
 - Protocolo (manual, series de recomendaciones X, Y...del UIT-T)
 - Tipo de interfaz
 - Velocidad de datos en el punto de acceso
- 3) Atributos de interfuncionamiento
 - Tipo de red destino (PSTN, ISDN, PLMN)
 - Interfaz terminal-red
- 4) Atributos generales
 - Servicios suplementarios anexos al servicio básico
 - Calidad de servicio

En la siguiente figura puede verse la relación entre los grupos de atributos y sus puntos de aplicación.

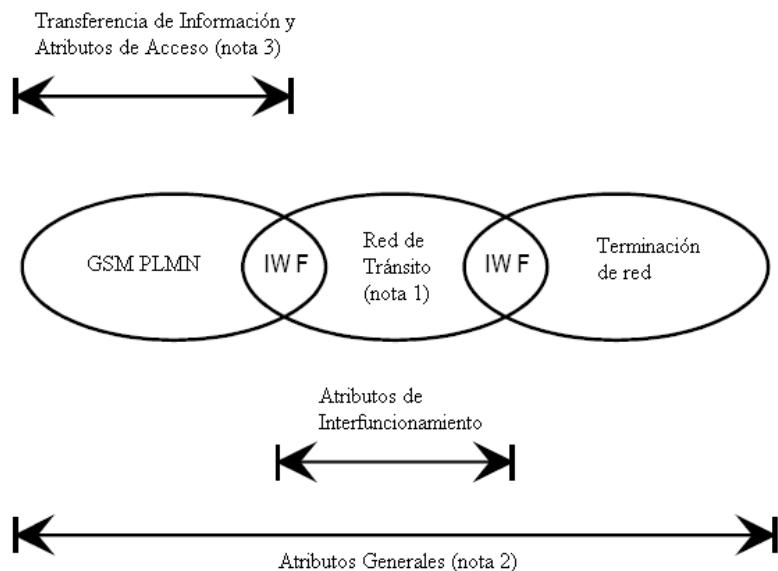


Figura 3.1

Nota 1: Puede no ser requerida por un servicio portador.

Nota 2: La comunicación debe ser establecida por cada terminación.

Nota 3: La transferencia de información y los atributos de acceso de un servicio portador están relacionados con una comunicación punto a punto de:

- Equipo terminal a equipo terminal.
- Equipo terminal con una pasarela de red (que soporte por ejemplo interfuncionamiento con PSTN) o vice-versa.

Se presentan en la siguiente tabla los servicios portadores definidos en la Recomendación GSM 02.02 (*Ref.D-1*).

Servicio portador	Tipo de servicio	Transferencia	Tasa binaria (bps)	Transparente	No transparente	Transmisión
21	Orientado a conexión	Asíncrona	300	✓	✓	UDI /3.1KHz

22			1200	✓	✓	UDI /3.1KHz
23			1200/75	✓	✓	UDI /3.1KHz
24			2400	✓	✓	UDI /3.1KHz
25			4800	✓	✓	UDI /3.1KHz
26			9600	✓	✓	UDI /3.1KHz
31			1200	✓	✗	UDI /3.1KHz
32		Síncrona	2400	✓	✓	UDI /3.1KHz
33			4800	✓	✓	UDI /3.1KHz
34			9600	✓	✓	UDI /3.1KHz
41		Asíncrona	300	✓	✓	UDI
42			1200	✓	✓	UDI
43			1200/75	✓	✓	UDI
44			2400	✓	✓	UDI
45			4800	✓	✓	UDI
46			9600	✓	✓	UDI
51		Síncrona	2400	✗	✓	UDI
52			4800	✗	✓	UDI
53			9600	✗	✓	UDI
61	Voz y datos		13000/9 600			
81	Voz y datos		13000/9 600			

Tabla 3.1.- servicios portadores definidos en la Recomendación GSM 02.02

A saber:

PAD - Packet Assambler/Disassambler. Empaquetado y desempaquetado de datos para intercambio de información con usuarios en una red de paquetes.

UDI - Unrestricted Digital Information. Es un concepto RDSI para designar la posibilidad de transmitir cualquier modelo de información digital sobre el canal independientemente del contenido.

3.1KHz - Esta característica será habilitada para hacer posible una comunicación con una red PSTN analógica.

Transparencia en el servicio - Se refiere a si los datos son o no editados en los elementos de red. Para los servicios transparentes los datos no serán modificados, protegiéndose con un código de redundancia a tal efecto.

Servicios 61 y 81 - Posibilitan alternancia voz-datos. El servicio portador 61 permite un reiterados cambios voz/datos. En el caso del servicio portador 81 esto no es posible, no pudiendo volver a un servicio de voz después de haber hecho el cambio a un servicio de datos.

- Tele-servicios

Serán los servicios que incluyen la capacidad del terminal, estableciendo una comunicación entre usuarios finales. Además permiten al usuario el uso de algunas capacidades de red como el almacenamiento y tratamiento de mensajes. Los atributos que los definen se pueden clasificar como sigue:

- 1) Atributos de capas altas.
- 2) Atributos de capas bajas. Describen las capacidades del servicio portador que dan soporte al Tele-servicio: atributos de transferencia de información y atributos de acceso.
- 3) Atributos generales.

La siguiente figura muestra la relación entre las diferentes categorías de atributos y su alcance dentro del Tele-servicio. Para que se dé el servicio se contempla la red de tránsito según el caso, y será necesario en principio que ambos equipos terminales hayan establecido la comunicación.

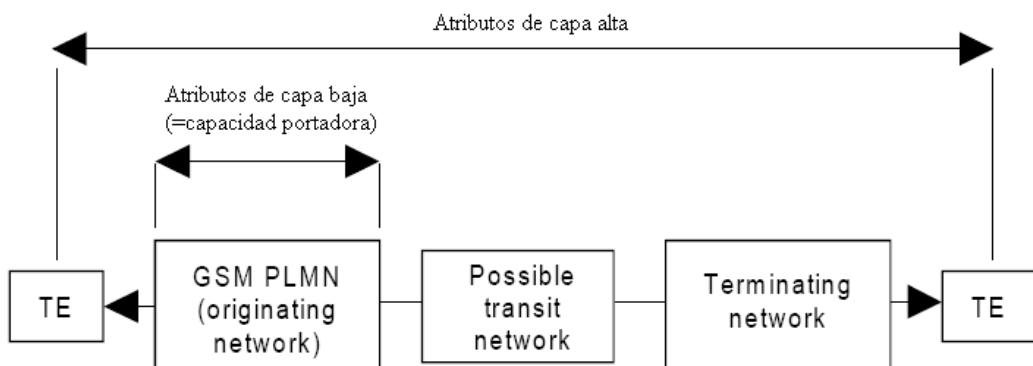


Figura 3.2.- Atributos de los tele-servicios.

Entre otros, en GSM se ofrecen los siguientes servicios:

- 1) Telefonía con voz digitalizada a velocidades de 13 Kbps (velocidad total: calidades normal y mejorada) y 6,5 Kbps (velocidad mitad). Se incluye aquí el servicio de llamadas de emergencia.
- 2) Mensajes cortos SMS “punto a punto” o “punto-multipunto” (desde la estación base).
- 3) Almacenamiento y tratamiento de mensajes. Este servicio de mensajería vocal permite el almacenamiento de los mensajes no atendidos por estar el teléfono móvil destino desconectado o fuera de cobertura. El usuario, llamando a su buzón, puede recuperarlos en cualquier momento y realizar ciertas operaciones de tratamiento como borrado, ordenación y repetición.
- 4) Facsímil. Es posible la conexión de aparatos facsímil del Grupo 3 y 4 (transmisión digital), de forma automática o alternada con la voz, para la transmisión/recepción de documentos en la estación móvil.
- 5) Mensajería multimedia MMS, que permite la transmisión de mensajes de voz, texto e imágenes fijas y móviles.

Servicios Suplementarios. Definidos en la recomendación GSM 02.8x, complementan y se implementan sobre los servicios portadores/tele-servicios ya existentes. Los siguientes grupos de servicios suplementarios son ofrecidos:

- Servicio de Identificación de número
- Servicios para llamadas
- Servicios de terminación de llamadas
- Comunidad de Interés
- Servicios de restricción de llamadas
- Servicios de transferencia de información adicional
- Servicio multidestino
- Servicio de carga
- Uso simultáneo de servicios

3.3.3 Arquitectura de la red GSM

En la red GSM se definen cuatro subsistemas: MS (Mobile Station), BSS (Base Station Subsystem), NSS (Network Switching Subsystem) y OSS (Operation and Service Subsystem). Dentro de dichos subsistemas pueden definirse una o varias entidades funcionales (*Ref.B-5*)

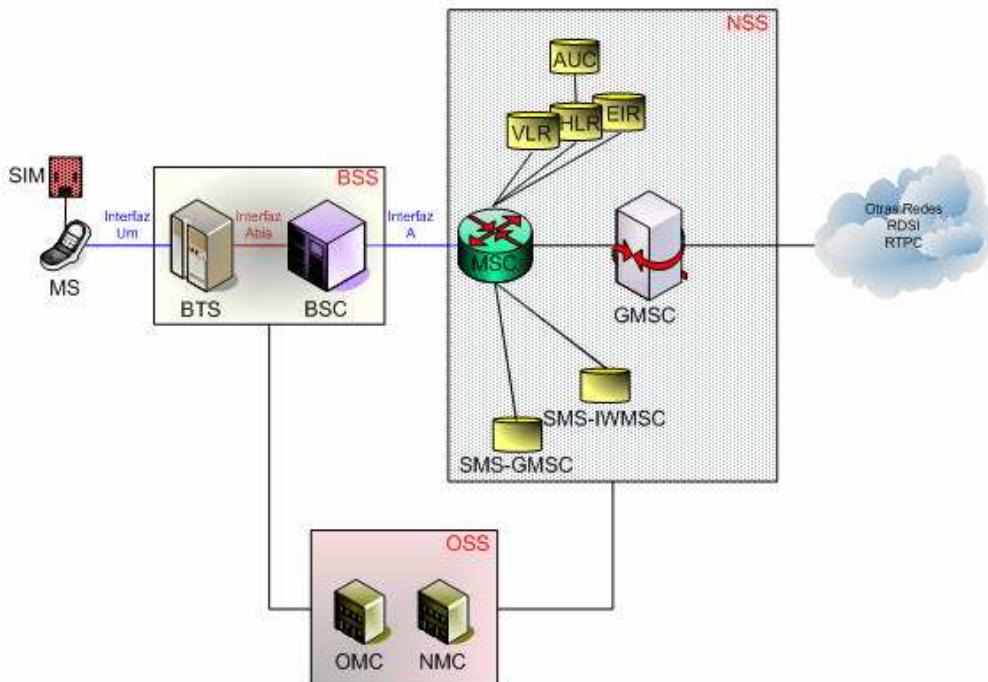


Figura 3.3: Arquitectura de la red GSM

A continuación se comentan los aspectos de cada subsistema (*Ref.B-1*).

3.3.3.1 La estación móvil: MS

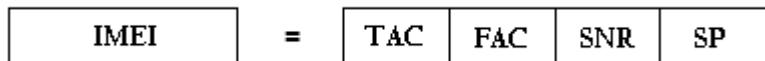
La estación móvil es un sistema cuyo fin es posibilitar al usuario el acceso a los distintos servicios que la red ofrece, dependiendo de ésta la posibilidad de acceder a determinados Servicios Suplementarios y Tele-servicios. Sus funciones son:

- Interfaz entre el usuario y el acceso radio.
- Transmisión/recepción de la información hacia/desde el acceso radio.
- Conversión analógica/digital de la voz y procesamientos de la información.
- Adaptación de interfaces y velocidades.
- Sintonizar la frecuencia de comunicación.
- Realizar el seguimiento automático de las estaciones base susceptibles de conexión.

Se define el interfaz que une la MS con la BSS como interfaz “Um” o “Interfaz Aire”. Este interfaz se ha definido con un grado de independencia entre MS y BSS tal que ambos pueden evolucionar de forma independiente. De esta forma se dinamizan los avances en uno y otro subsistema. La Estación Móvil está formada por el Equipo Terminal (ME) y la Tarjeta SIM (Subscriber Identity Module).

- El Equipo Terminal: ME

El Equipo Terminal, o simplemente “terminal”, es el equipo físico de comunicaciones con toda la electrónica que conlleva, y se identifica dentro de la red con el número IMEI (International Mobile Equipment Identity). Este número consta de cuatro partes:



- 1) TAC - Type Approval Code. Identifica el tipo de licencia. Formado por 6 dígitos, los dos primeros identifican el país.
- 2) FAC - Final Assembly Code. Identifica el fabricante. Formado por 2 dígitos.
- 3) SNR - Serial Number. Formado por 6 dígitos.
- 4) Sp - Spare. Es un dígito verificador y se utiliza para comprobar que el IMEI es correcto. Formado por 1 dígito.

Sin embargo el terminal no identifica al usuario por sí mismo. El usuario en la red no se asocia al terminal y su IMEI, sino al número IMSI (International Mobile Subscriber Identity) contenido en la tarjeta SIM.

- La Tarjeta SIM

Se trata de una tarjeta inteligente de obligado uso en terminales para la red GSM. Entre la información que almacena es de especial importancia los siguientes contenidos:

- 1) ICC-ID (Internacional Circuit Card - ID). Memorizados en la tarjeta e impresos sobre ésta, identifica internacionalmente una tarjeta SIM.
- 2) IMSI (International Mobile Subscriber Identity)



- MCC: Mobile Country Code. Identifica el país (2 ó 3 dígitos)

- MNC: Mobile Network Code. Identifica el operador de red (2 dígitos)
 - MSIN: Mobile Station Identification Number (máximo 13 dígitos)
- 3) TMSI (Temporal Mobile Suscriber Identity)
 - 4) Código PIN. Es una clave corta para el desbloqueo de la SIM.
 - 5) Código PUK. Es una clave larga para el desbloqueo de la SIM.
 - 6) Clave del algoritmo de autenticación (Ki). Es un valor de 16 bytes usado para autenticar las tarjetas SIM en la red móvil. Cada tarjeta SIM tiene una Ki única asignada por el operador. La Ki también se almacena en una base de datos específica llamada AuC (Authentication Center) que está implementada como parte integral de la HLR (Home Location Register) de la red del operador.
 - 7) Algoritmo de autenticación (A3).
 - 8) Algoritmo de generación de claves de cifrado (A8).
 - 9) Algoritmo de cifrado (A5).
 - 10) Clave del algoritmo de cifrado (Kc).

3.3.3.2 Subsistema de Estación Base: BSS

Es el encargado de dar cobertura de red a un área determinada. Comprende las funciones de capa física para la conexión de la red con el MS vía interfaz aire Um. Para llevar a cabo esta labor se basa en el concepto de “canal lógico” definido sobre el interfaz. Sobre estos canales fluyen señales de información que siguen ciertos protocolos para hacer posible las funciones de la BSS, como son:

- Localización y seguimientos de las MS.
- Establecimiento de llamadas.
- Mantenimiento, supervisión y control de calidad de las llamadas.
- Facilidades operativas.

Dentro de una BSS se identifican las siguientes unidades funcionales:

- BTS (Base Transceiver Station)

La conforman el conjunto de dispositivos capaces de transmitir y recibir información de forma eficiente sobre la interfaz aérea Um. Generalmente consiste en un bastidor ubicado en tierra que suele ir dentro de una caseta, en el cual se incluyen módulos como las unidades transceptoras para cada sector o TRXs, multiacopladores, diplexores...todo esto comunicado a través de una/varias tiradas de cable coaxial o fibra óptica hasta las antenas usadas para la estación.

Su labor es doble, dado que la BTS se encarga por un lado de mantener la comunicación con la MS, mientras que por otro la mantiene con su BSC para que sea ésta la que gestione la llamada más allá del nivel físico de la comunicación. Sus funciones se listan a continuación:

- La gestión del canal físico.
- Gestión de la diversidad, ya sea espacial o en frecuencia.

- Supervisión de la ROE (Relación de Onda Estacionaria) por la desadaptación de impedancias en la BTS.
- Cambio de frecuencia o “Hopping”.
- Transmisión discontinua, tanto en UL como en DL.
- Control directo de la potencia emitida por la MS y ella misma bajo demanda de la BSC.
- Encriptar la información transmitida al MS para proteger la confidencialidad de la comunicación.
- Monitorización de la calidad. De la información recogida se obtendrán contadores brutos que servirán para el mantenimiento y optimización de la red.

Una visión de los componentes de una BTS se verá con más detenimiento en el capítulo III, cuando se vea un ejemplo de implementación de una BTS real.

- BSC (Base Station Controller)

Dentro de Subsistema de Estación Base, será la BSC quien tenga labores de decisión y de cierta inteligencia, motivo por el cual suele existir redundancia HW para asegurar la continuidad en su operación y previniendo perjuicios en el servicio. Una BSC puede encargarse de una única BTS o de varias, cumpliendo funciones de comunicación y monitoreo. Para el tráfico del abonado que viene de las estaciones base se comporta como un concentrador, en cambio para el tráfico que proviene de la red opera como un enrutador hacia la estación base destino.

La BSC también realiza labores de operación y mantenimiento, ya que reporta alarmas de funcionamiento de las estaciones base que cuelgan de ella, así como de sus estadísticos, al OMS (Operation and Maintenance Subsystem). Será en ellas además donde los operarios del operador de red carguen el SW que dictará el comportamiento de la BSS.

Las funciones del BSC son:

- Gestión del canal radio. Elección de la celda que constituya la mejor opción para la conexión del MS.
- Configuración del canal radio. Sobre la conexión con una celda establecer parámetros como potencia de emisión, umbrales, frecuencia de portadora...
- Gestión del cambio de celda (Handover). En base a los niveles de señal recibidos y la calidad de ésta, se realiza o no la transferencia de la llamada sin perder la conexión a otra celda capaz de dar un mejor servicio.

3.3.3.3 Subsistema de conmutación de red: NSS

También conocido como SMSS (Switching and Management Subsystems), gestiona todas las funciones relacionadas con la señalización para realizar el establecimiento, el mantenimiento, y la posterior liberación de recursos en una llamada en el entorno de una comunicación móvil. Sus funciones básicas son:

- Localización y registro del abonado móvil. Para llevar a cabo este proceso el usuario deberá autenticarse en la red.

- Encaminamiento de llamadas.
- Consideración de los aspectos en los que afecta la movilidad del usuario.
- Intercambio de señalización entre entidades funcionales de GSM y con redes externas.

El NSS está constituido por las siguientes entidades funcionales:

- MSC (Mobile Switching Center). Se trata de la entidad base para el funcionamiento del NSS y se encarga tanto de las labores de conmutación dentro de la red como de posibilitar la comunicación con otras redes.

Sus funciones más relevantes son:

- Autentificación de la llamada. Verifica que el usuario llamante está dado de alta en el servicio solicitado.
- Asegurar la confidencialidad de los datos de usuario. El número IMSI no se enviará nunca. En su lugar se utiliza el número temporal TMSI. Éste es generado por la MSC.
- Handover. Desde el punto de vista de la red se pueden dar dos casos de HO. Tanto si el MS permanece en una BTS perteneciente a la misma MSC, como si se desplaza hasta otra en otra área perteneciente a una segunda MSC, será misión de la MSC mantener la continuidad de la llamada.
- AuC (Authentication Center). Será el encargado de verificar que el usuario solicitante del servicio tiene derecho a éste. El mecanismo de autentificación verifica la legitimidad de la SIM sin transmitir sobre el canal radio información personal del abonado como (IMSI, Ki). Los códigos de autenticación y clave son generados por cada abonado en particular mediante algoritmos definidos por el estándar. Estos algoritmos son conocidos por AuC y SIM.

La autentificación tiene lugar cuando:

- El MS recibe (o realiza) una llamada.
- Se realiza la actualización de la posición de la MS (location updating).
- Se solicita la activación, desactivación o consulta sobre el estado de algún servicio suplementario.

El AuC puede ser realizado como otra aplicación en el mismo HLR, que es el único elemento del sistema con el que interactúa. Por motivos de seguridad no es posible acceder a él de forma remota.

- EIR (Equipment Identity Register). Se encarga de que cualquier equipo que acceda a la red sea válido. Para ello se chequea el número IMEI del MS que demanda acceso con el listado de IMEIs válidos que contiene en su base de datos. Si el IMEI del demandante no es encontrado se rechazará su acceso a la red.

La base de datos está dividida en tres secciones:

- White List: contiene los IMEI de todos los usuarios de los operadores de los países con los que se tienen acuerdos de roaming internacional.
- Black List: contiene los IMEI que se consideran bloqueados.
- Grey List: contiene los IMEI marcados como faulty (no homologados o defectuosos). Los terminales de esta lista generan una alarma a los operadores cuando se solicita el acceso, permitiendo la identificación del abonado que utiliza el terminal y del área donde se encuentra.

En cada intento de conexión del MS, el MSC verifica en base al EIR que:

- El terminal está homologado para la conexión con una red GSM.
- El terminal no ha sido robado o utilizado fraudulentamente.
- El terminal no está marcado como faulty.

El EIR puede ser único para todo el sistema o puede estar implementado en forma distribuida. Puede encontrarse físicamente con el HLR y el AuC, pero generalmente es preferible tenerlo en una máquina aparte por razones de seguridad. Se puede acceder también por control remoto para la actualización de las listas.

- HLR (Home Location Register). Es un registro utilizado para almacenar y gestionar la información de los usuarios de la red. Puede haber varios o solamente uno, y es la base de datos más importante de la red dado que almacena permanentemente datos de los usuarios, tales como el perfil de servicios contratados, información sobre su localización, o su estatus dentro de la red.

Dentro del HLR los usuarios se identifican con el número MSISDN (Mobile Station ISDN Number):



Donde:

- CC: Country Code. Prefijo internacional para el país.
- NDC: Nacional Destination Call. Prefijo nacional.
- SN: Subscriber Number. Número del abonado.

Las informaciones permanentes que contiene el HLR serán:

- Número IMSI.
- Número MSISDN.
- Servicios en los que el abonado está dado de alta.

Las informaciones temporales que contiene el HLR serán:

- VLR en el que está actualmente registrado el MS (localización).
- Estado de servicios auxiliares de carácter temporal.

Con esto, las funciones del HLR se resumen en el siguiente cuadro:

Función	Procedimiento
Seguridad de los datos del usuario	Interfuncionamiento con AuC y VLR
Gestión de los datos del usuario	Interfuncionamiento con OMC y VLR
Gestión de estadísticos	Provienen de las BSS, se reenvían al OMC
Localización	Interfuncionamiento con VLR
Facturación	Interfuncionamiento con MSC

- VLR (Visitor Location Register). Este registro se encuentra siempre integrado en la MSC y contiene información temporal sobre usuarios necesaria para que la MSC pueda dar servicio a usuarios visitantes. Cuando una estación móvil pasa de la zona cubierta por su MSC a otra área cubierta por una MSC vecina, el VLR de esta última requerirá información sobre el usuario al HLR. Posteriormente a esta llamada, si el usuario decidiera iniciar otra desde esta segunda área de cobertura, deberá poder cursarla sin necesidad de que el VLR vuelva a interrogar al HLR.

En concreto contiene la siguiente información:

- TMSI
- Estatus del MS: standby, ocupado o apagado.
- Estado de los servicios suplementarios.
- Tipos de servicios suscritos por el usuario.
- LAI (Location Area Identity) del MS.

3.3.3.4 Subsistema de operación y mantenimiento: OSS

El OSS (Operation and Support Subsystem) será la entidad funcional a través de la cual el operador monitoriza y controla la red. Su objetivo será ofrecer al cliente el correcto funcionamiento de la red, así como su mantenimiento eficiente, tanto regional como local. La supervisión constante del estado de la red será vital a la hora de dar este tipo de servicios, debido a que la satisfacción del usuario es determinante para el éxito comercial.

- OMC. El Centro de Operación y Mantenimiento (Operation and Maintenance Center) estará conectado a todos los equipos del NSS y también a la BSC.
- NMC. El Centro de Gestión de Red (Network Management Center), junto con el OMC, controla y gestiona el funcionamiento de la red. Es un sistema de operación que constituye la máxima jerarquía dentro del sistema de explotación. De éste centro dependen todos los demás centros de operación y mantenimiento.

3.3.3.5 Elementos funcionales adicionales

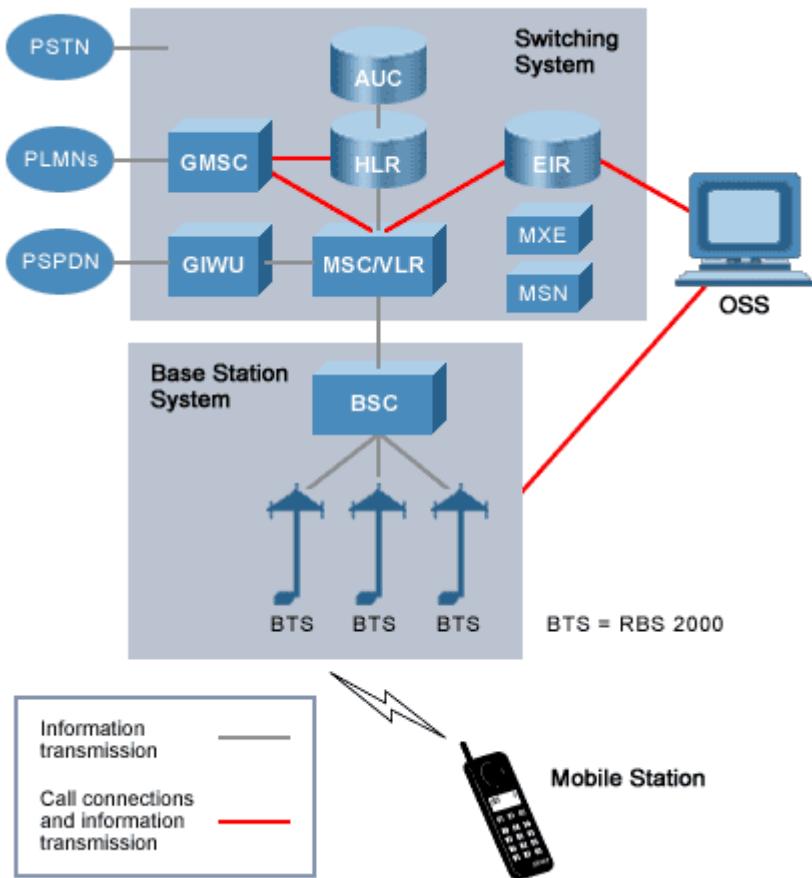


Figura 3.4: Elementos Funcionales Adicionales

Se definen los siguientes elementos funcionales adicionales (*Ref. W-1*):

- MXE. El Centro de Mensajes (Message Center) es un nodo que proporciona voz integrada, fax y mensajes de datos. Especialmente el MXE sirve para encargarse del servicio de mensajes cortos (SMS) y envío de mensajes cortos a varios usuarios (Cell Broadcast).
- MSN. El Nodo de Servicio Móvil (Mobile Service Node) será el nodo responsable de los servicios inteligentes de red.
- GMSC. La Pasarela MSC (Gateway MSC) tiene como finalidad interconectar la red GSM con otra red. Usualmente la GMSC va integrada en la MSC. En este caso la MSC es llamada GMSC.
- GIWU. La Unidad de Interfuncionamiento GSM (GSM Inter-Working Unit) provee un interfaz para comunicaciones de datos con otras redes. A través del GIWU el usuario podrá alternar entre voz y datos a lo largo de la misma llamada. Físicamente, se encuentra ubicado en la MSC/VLR.
- SMS-G. La Pasarela para Servicios de Mensajes Cortos (SMS-Gateway) es usada para describir colectivamente a dos Gateways que soportan el servicio de mensajería corta descritos en las recomendaciones GSM. El SMS-GMSC (Short Message Service Gateway Mobile Switching Service) encargado de la terminación

de los mensajes cortos y el IWMSC (Short Message Service Inter-Working Mobile Switching Center) encargado de originar los mensajes cortos.

3.3.4 Protocolos e interfaces en la arquitectura GSM

3.3.4.1 El modelo de referencia OSI

El modelo de referencia de Interconexión de Sistemas Abiertos (OSI, Open System Interconnection) lanzado en 1984 fue el modelo de red descriptivo creado por ISO; esto es, un marco de referencia para la definición de arquitecturas de interconexión de sistemas de comunicaciones (*Ref.B-1 y Ref.W-2*).



Figura 3.5: Las 7 capas del modelo OSI. Esquema de transmisión y recepción

En la definición de la arquitectura GSM será el modelo OSI el que se siga a la hora de levantar la red de forma estructurada, desde el nivel más básico -abordando cuestiones relacionadas con la interacción con el sustrato físico de la red- hasta el más alto, en el que son consideradas las aplicaciones -para las cuales el soporte les es transparente apareciendo para éstas como una comunicación entre origen y destino libre de errores y con determinada capacidad-.

A continuación se hace una breve descripción de las funciones de cada capa de este modelo de referencia orientado a las redes móviles que servirá como introducción teórica para los protocolos GSM que se verán a continuación.

Modelo OSI

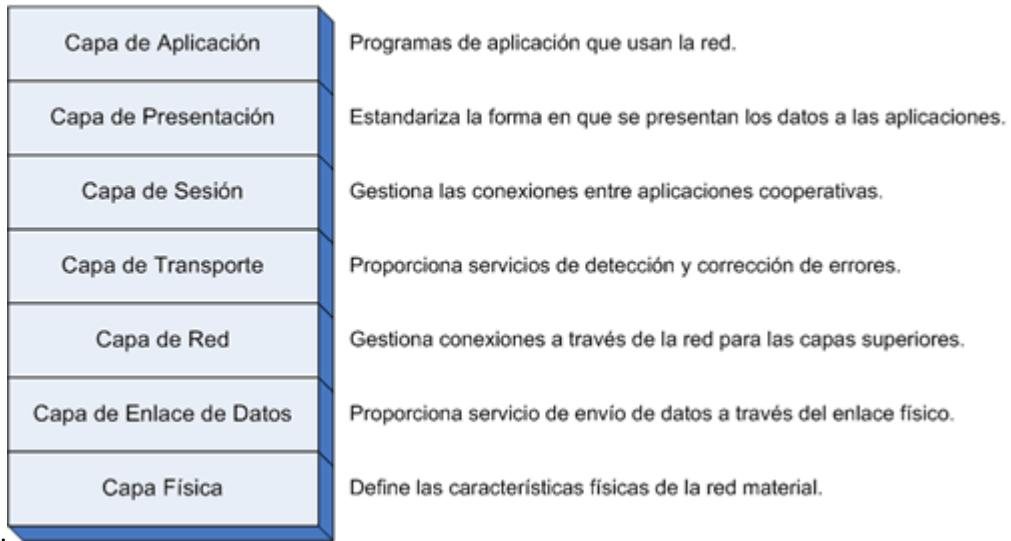


Figura 3.6: Esquema funcional de las capas del modelo OSI

- Nivel 1: Capa Física.

Será la que tenga en cuenta las características del sustrato físico de la red, tanto generando una señal adecuada para transmitir la información que le llega del nivel de enlace, como a la hora de recibir una señal que le llega desde la red. Tendrá en cuenta aspectos como:

- El medio por el que viaja la señal.
- Codificación de línea y modulación apropiada para la transmisión sobre el medio.
- Demodulación y decodificación apropiada para la recepción desde el medio.
- Dar garantías de conexión origen-destino. En este punto es de notar que el destino no es el usuario final destinatario de la llamada, sino el siguiente punto en la red por el que pasa la llamada como parte de un camino hasta el destinatario. Así mismo el nivel físico garantiza la conexión, pero no la fiabilidad de esta.

- Nivel 2: Capa de Enlace

Cualquier medio de transmisión debe ser capaz de proporcionar una transmisión sin errores, es decir, un tránsito de datos fiable a través de un enlace físico. Debe crear y reconocer los límites de las tramas, así como resolver los problemas derivados del deterioro, pérdida o duplicidad de las tramas. También puede incluir algún mecanismo de regulación del tráfico que evite la saturación de un receptor que sea más lento que el emisor.

La capa de enlace de datos se ocupa del direccionamiento físico, de la topología de la red, del acceso a la red, de la notificación de errores, de la distribución ordenada de tramas y del control del flujo.

- Nivel 3: Capa de Red

Se encarga de que la información transmitida llegue al destinatario final a pesar de que no esté directamente conectado al origen, determinando la ruta de los datos (direcciónamiento lógico). También provee de mecanismos para controlar la congestión de la red.

- Nivel 4: Capa de Transporte

Su misión es recibir, dividir en partes más pequeñas la información que recibe de capas superiores si fuera necesario, y empaquetarla en los llamados “Segmentos” con cabeceras en las que se especifica el servicio de transporte provisto para la sesión en particular que está transmitiendo. En el equipo receptor la labor será la complementaria, leyendo las cabeceras puestas por su homólogo y pasando a las capas superiores la información de forma correcta.

Este nivel aísla totalmente a las capas superiores de la tecnología y topología de la red sobre la que se sustenta la comunicación.

- Nivel 5: Capa de Sesión

Establece, gestiona y finaliza la comunicación entre usuarios finales. Aunque su implementación específica y delimitada no es necesaria en muchas ocasiones, las funciones de este nivel deben ser llevadas a cabo dada la importancia que poseen a la hora de la comunicación, entre ellas:

- Control de la sesión a establecer entre el emisor y el receptor.
- Evitar que dos comunicaciones a la misma operación crítica no se efectúen al mismo tiempo (control de la concurrencia).
- Proveer de “checkpoints” para la recuperación de la comunicación en caso de interrupción.

- Nivel 6: Capa de Presentación

Esta capa se encargará de manejar las estructuras de datos abstractas y realizar las conversiones de representación de datos necesarias para la correcta interpretación de los mismos, tratando sobre todo el contenido de la comunicación (y no cómo se establece ésta), realizando las conversiones de formato mediante las cuales se logra la comunicación de dispositivos.

- Nivel 7: Capa de Aplicación

Ofrece a las aplicaciones (de usuario o no) la posibilidad de acceder a los servicios de las demás capas y define los protocolos que utilizan las aplicaciones para intercambiar datos. Hay tantos protocolos como aplicaciones distintas y puesto que continuamente se desarrollan nuevas aplicaciones el número de protocolos crece sin parar.

Cabe aclarar que el usuario normalmente no interactúa directamente con el nivel de aplicación. Suele interactuar con programas que a su vez interactúan con el nivel de aplicación pero ocultando la complejidad subyacente.

3.3.4.2 Interfaces de la red GSM

Se define “interfaz” como la “Conexión o frontera común entre dos aparatos o sistemas independientes”.

De esta forma, entre cada entidad de las anteriormente mencionadas que mantengan una comunicación, se define un interfaz que servirá de soporte para los mensajes intercambiados.

Para que los desarrolladores de los diferentes protocolos escriban código interoperable, el Instituto Europeo de Normas de Telecomunicaciones (ETSI - European Telecommunications Standards Institute) ha producido un conjunto de especificaciones a seguir cuando se implementan protocolos GSM. Las especificaciones describen interfaces normalizadas entre protocolos, lo cual permite que diferentes protocolos interoperen.

En las siguientes figuras se muestran dos esquemas que contienen los nombres de los interfaces que se definen entre cada entidad de red, incluyendo el segundo el interfaz G (interfaz entre dos VLRs pertenecientes a distinta MSC) y H (interfaz entre HLR y AUC).

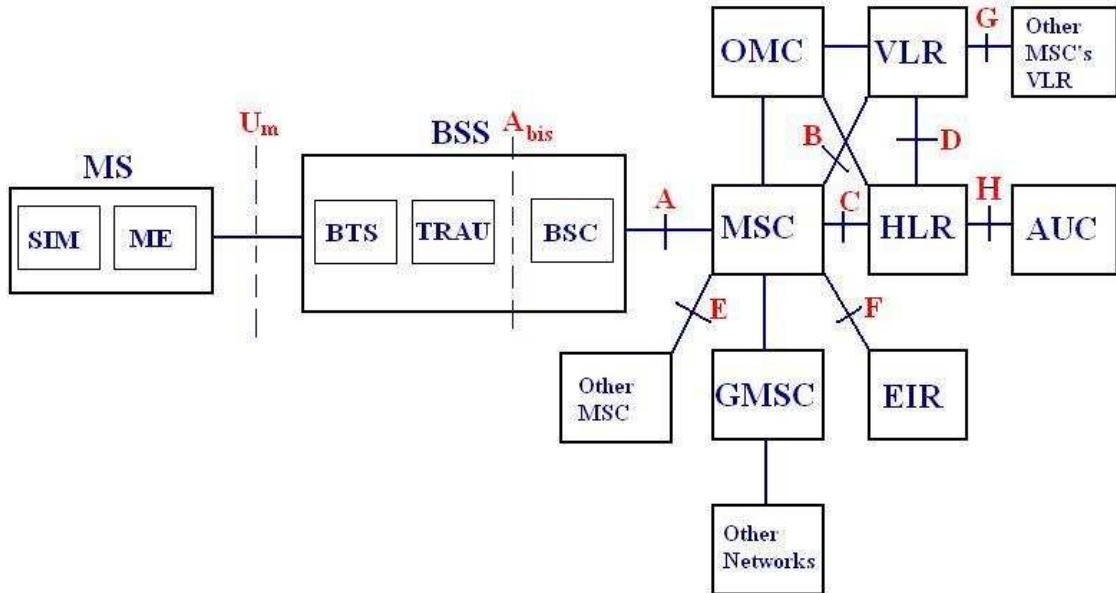


Figura 3.7.- Esquema de interfaces en el estándar GSM

A continuación se detallan algunos aspectos sobre los interfaces GSM (Ref.B-3):

- Interfaz Um - Interfaz MS-BSS que proporciona servicios de circuito y de paquetes de datos sobre el interfaz aire. Es utilizada por las MS para acceder a todos los servicios de la red GSM a través de la BTS.
- Interfaz Abis - Interfaz BSC-BTS, usualmente tiene una tasa de transferencia de 16 Kbps para señalización y 64 Kbps para voz y datos de usuario. Permite conectar de una forma normalizada estaciones base y controladores de estación base, independientemente de que sean realizadas por un mismo suministrador o por suministradores distintos.
- Interfaz A - Interfaz MSC-BSC. Se utiliza fundamentalmente para el intercambio de información para:
 - Gestión de la BSS
 - Manejo de la llamada
 - Gestión de la movilidad

Soporta canales estándar de 64 Kbps para señalización y tráfico de usuario, sobre una tasa de 2 Mbps. Los principales protocolos de este interfaz son DTAP (Direct Transfer Application Part) y BSSAP (Base Station Subsystem Application Part).

DTAP es un protocolo de aplicación para transferir información de señalización entre la MS y la MSC en redes GSM.

BSSAP es un protocolo para transportar información de control de la BSC entre la MSC y la BSS, por ejemplo, para la asignación de canales de tráfico entre la MSC y la BSS.

- Interfaz B - El interfaz MSC-VLR no está normalizada por tratarse normalmente de interfaces internas, dejándose sus especificaciones al criterio del desarrollador del equipo. Cuando un MSC necesite proporcionar información sobre un móvil acudirá a su VLR. Esta interfaz no debe ser externa (dado el volumen de información intercambiada).
- Interfaces C, D, E, F y G - Fueron estandarizadas por el protocolo MAP, protocolo que utiliza los servicios de transacción y transferencia de mensajes del Sistema de Señalización número 7 (SS7). Su funcionalidad se comenta a continuación.
 - Interfaz C: Sobre él se pide la solicitud de información de tarificación por parte de la MSC al HLR, o la localización del terminal necesaria para que reciba una llamada de una red externa fundamentalmente.
 - Interfaz D: Esta interfaz se utiliza para intercambiar los datos relacionados con la posición de la estación móvil y los datos de suscripción del usuario. El VLR informa al HLR sobre la posición de una estación móvil, proporcionándole un número de seguimiento a fin de que pueda encaminar las llamadas. En el otro sentido, el HLR envía al VLR de la MS los datos necesarios para soportar los servicios contratados por el usuario. Cuando la estación móvil pasa a estar en el área servida por otro VLR, el HLR envía al primer VLR la orden de que borre el registro de dicha MS.

- Interfaz E: Cuando una estación se desplaza del área controlada por una MSC al área de otra MSC distinta, es necesario realizar un procedimiento de traspaso para poder continuar la conversación. En este caso las MSC deben intercambiar datos para poder llevar a cabo esta operación.
- Interfaz F: Utilizada cuando el MSC desea comprobar el IMEI (identidad internacional del equipo móvil) de un equipo.
- Interfaz G: Utilizada para permitir la interconexión entre dos VLRs de diferentes MSCs.
- Interfaz H - Al igual que el interfaz B, el interfaz HLR-AUC suele ser interno, no estando normalizado.
- Interfaz I - En el interfaz MS-MSC se da el intercambio transparente de datos entre la estación móvil y el centro de conmutación móvil.

3.3.4.3 Protocolos y señalización en la red GSM

La red GSM debe ser capaz de transmitir la información de usuario a cualquier destino dentro de la propia red o de otra. Para ello también es necesario que proporcione funciones de conmutación y conectividad sobre las redes fijas convencionales, tales como la red RDSI (ISDN - Integrated Services Digital Network) o la red pública conmutada (PSTN - Public Switched Telephone Network). Además de esto, se deben tener en cuenta los aspectos de la señalización derivados de la movilidad de los terminales (localización, continuidad de la llamada en curso...).

GSM consigue todo esto gracias a un doble esquema de señalización (figura 3.8). Por un lado implementa un sistema específico para el interfaz Um, y por otro el sistema Señalización Número 7, o SS7, para el NSS. Dentro de este último coexistirán varios protocolos para según sobre qué interfaz se lleve a cabo la comunicación. A continuación se comentan los distintos protocolos usados en base a la figura, teniendo en cuenta los dos diferentes sistemas comentados (*Ref.B-6 y Ref.W-2*).

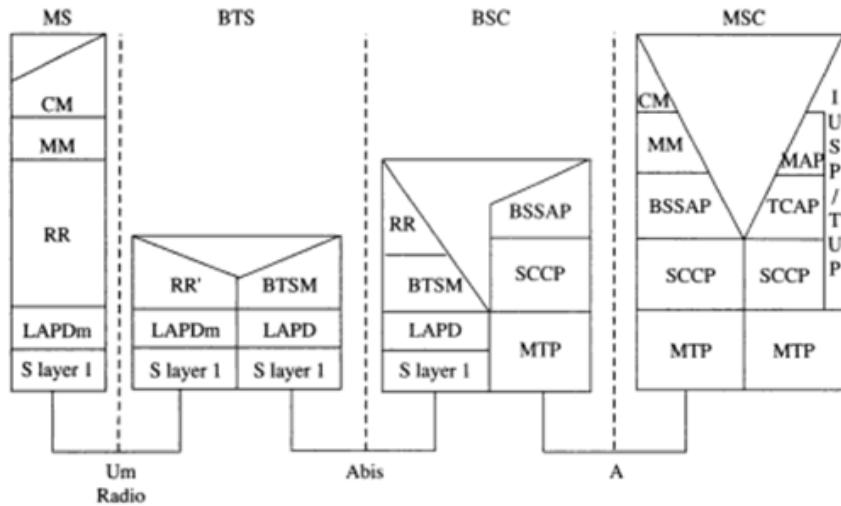


Figura 3.8.- Torre de protocolos GSM

La capa física será la específica de la red GSM en los interfaces Um y Abis, de cuyas características generales se dará una visión en el siguiente apartado. No obstante, para los mensajes de señalización sobre el interfaz A BSS-MSC se utilizan los servicios de la parte de transferencia de mensajes MTP (Message Transfer Part), que proporciona una transmisión fiable y segura.

En el nivel de enlace pueden verse dos protocolos distintos sobre los interfaces Um y Abis. Por un lado LAPD (Link Access Procedure on D channel), y por otro LAPDm, que es una modificación del primero apropiada para el interfaz radio MS-BTS. LAPD (también conocido como ITU Q.921) es un protocolo de control de enlace de datos para los canales tipo D. Tiene dos formas de operación, orientada o no a conexión, y en esencia está diseñado para convertir un enlace físico poco fiable en un enlace de datos fiable. Al igual que para el nivel físico, entre BSS y MSC se utilizará MTP en la comunicación.

El nivel de red se divide a su vez en tres protocolos distintos:

- *Gestión de la Conexión (CM - Connection Management)*

Se encarga de:

- Control de llamadas. Establece, mantiene y finalmente libera la llamada. CM interactuará con las entidades VLR, GMSC, GIWU y HLR para la gestión del servicio orientado a la conmutación de circuitos, incluyendo voz y circuito de datos.
- Servicio suplementario de gestión. Permite a los usuarios tener cierto control sobre su llamada pudiendo variar el servicio básico.
- Servicio de mensaje corto (SMS). - La transmisión de mensajes cortos requiere establecer una relación de señalización entre la estación móvil y el MSC.

- *Gestión de la Movilidad (MM - Mobility Management)*

Gestiona la base de datos de usuarios, incluyendo la información de localización. Gestiona además las actividades de autenticación SIM, HLR y AuC.

- *Gestión de Recursos Radio (RR - Radio Resource Management)*

Gestiona la transmisión sobre la interfaz radio sobre la que está establecida la conexión MS-BTS. Provee un enlace estable entre la estación móvil y la BSC. Será la BSS quien realice la mayor parte de las funciones RR.

El protocolo de capa de red BTSM sobre el interfaz Abis gestionará los mensajes RR con la BTS al igual que SCCP hace con BSSAP sobre el interfaz A.

CM y MM se implementan en el interfaz A de la MSC, mientras que el RR lo hará sobre la BSC. El protocolo usado para transferir los mensajes CM y MM será BSSAP (Base Station System Application Part), que permite el control directo de la BSS. Por su parte SCCP se encarga del direccionamiento y enrutamiento de las centrales, ya que ha sido ideado fundamentalmente para posibilitar la transferencias de mensajes entre dos Puntos de Señalización cualesquiera, pertenezcan a la misma red SS7 o a dos distintas.

Para el establecimiento y supervisión de las llamadas establecidas con usuarios de las redes PSTN e ISDN, se utilizan los protocolos TUP e ISUP respectivamente. Para los mensajes de señalización con las entidades HLR, VLR, otras MSC, etc..., propias de GSM, se usa el protocolo MAP complementado por TCAP (Transaction Capability Application Part), que proporciona funciones para la comunicación con el extremo remoto de una cadena de señalización y permite el establecimiento de múltiples diálogos.

En la siguiente tabla se describen a modo de resumen los principales interfaces, los protocolos de la arquitectura GSM, así como el tipo de información que circula por ellos.

Interfaz	Situada entre	Descripción	Intercambio de información de	
			...usuario	...Señalización
A	MSC-BSC	Permite el intercambio de información sobre la gestión del subsistema BSS, de las llamadas y de la movilidad. A través de ella, se negocian los circuitos que serán utilizados entre el BSS y el MSC.	SI	SS7
Abis	BSC-BTS	Permite el control del equipo de radio.	SI	LAPD
B	VLR-MSC asociados	VLR es la base de datos que contiene toda la información que permite ofrecer el servicio a los clientes que se encuentran en el área de influencia de sus MSC asociados. Por lo tanto, cuando un MSC necesite proporcionar información sobre un móvil acudirá a su VLR. Esta interfaz NO debe ser externa NO (por desempeño, por el volumen de información intercambiado).	NO	MAP/B
C	HLR-GMSC	Es la interfaz utilizada por los gateways GMSC para enrutar la llamada hacia el	NO	MAP/C

		MSC destino. La GMSC no necesita contar con un VLR, se trata de un nodo que sólo transmite llamadas.		
D	HLR-HLR	Permite intercambiar información entre ambas bases de datos, esta información se encuentra relacionada con la posición del móvil y la gestión del servicio contratado por el usuario.	NO	MAP/D
E	MSC-MSC	Permite intercambiar la información necesaria para iniciar y realizar un intercambio Inter-MSC cuando el móvil cambia de área de influencia de un MSC a otro.	SI	MAP/E, RDSI e ISUP
F	MSC-EIR	Utilizada cuando el MSC desea comprobar el IMEI de un equipo.	NO	
G	VLR-VLR	Utilizada para permitir la interconexión entre dos VLRs de diferentes MSCs.	NO	MAP/G
H	HLR-AuC		SI	MAP/H
I	MSC-MS	Permite el intercambio transparente de datos entre el MSC y el MS a través del BSS.		
Um	BSS-MS	Es la interfaz de radio, se encuentra entre la estación móvil y el BSS.	SI	LAPDm

En la figura 3.9 se ven los protocolos MAP/X asociados a cada interfaz.

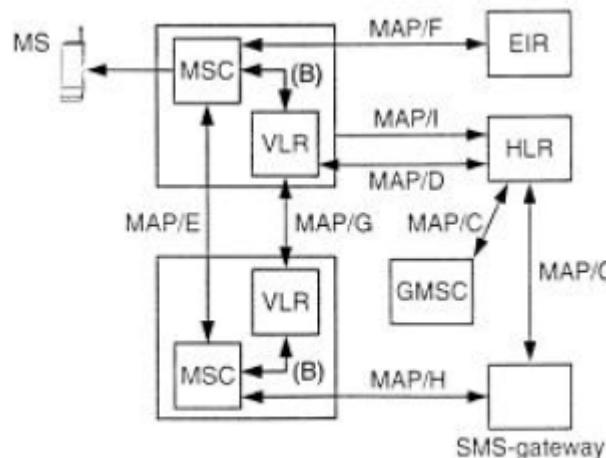


Figura 3.9.- Protocolos MAP/X

3.3.5 Red de acceso. El interfaz aire

En este punto se pasa a detallar cómo GSM trabaja sobre la interfaz aire para convertirlo en un medio de transmisión fiable.

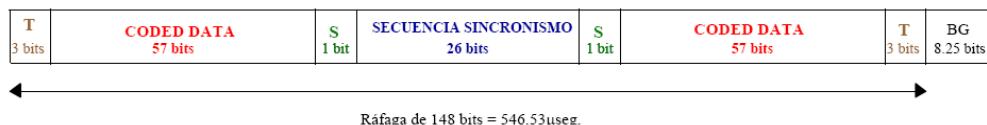
3.3.5.1 Interfaz aire. Características generales y estructura de tramas

En la siguiente tabla se presentan las características generales del protocolo GSM en cuanto a su nivel físico:

Parámetro	GSM
Frecuencia de Transmisión (MHz)	
- Base → Móvil	935-960
- Móvil → Base	1805-1880 890-915
890-915	
Tipo de acceso múltiple	TDMA
Método de Duplexado	FDD
Ancho de banda por radiocanal	200 KHz
Nº canales de tráfico por radiocanal	8
Nº total de canales de tráfico	1000
Canal vocal:	
- Tipo de Modulación	- GSMK
- Velocidad Txon/Desviación Frec.	- 270,8 Kbps
- Tipo de VOCODER y velocidad	- 13 Kbps
Canal de Servicio	
- Tipo de modulación	- GMSK
- Velocidad de transmisión	- 270 Kbps (NRZ)

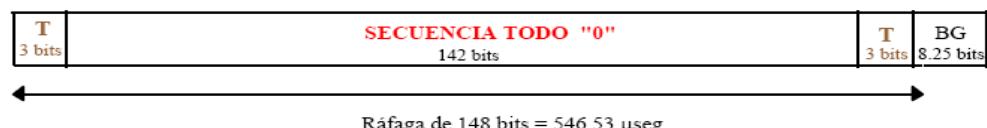
Las ráfagas en el nivel físico pueden clasificarse en:

- Ráfagas normales



- Ráfagas específicas:

- a) Corrección de frecuencia (DL)



- b) Sincronización (DL)



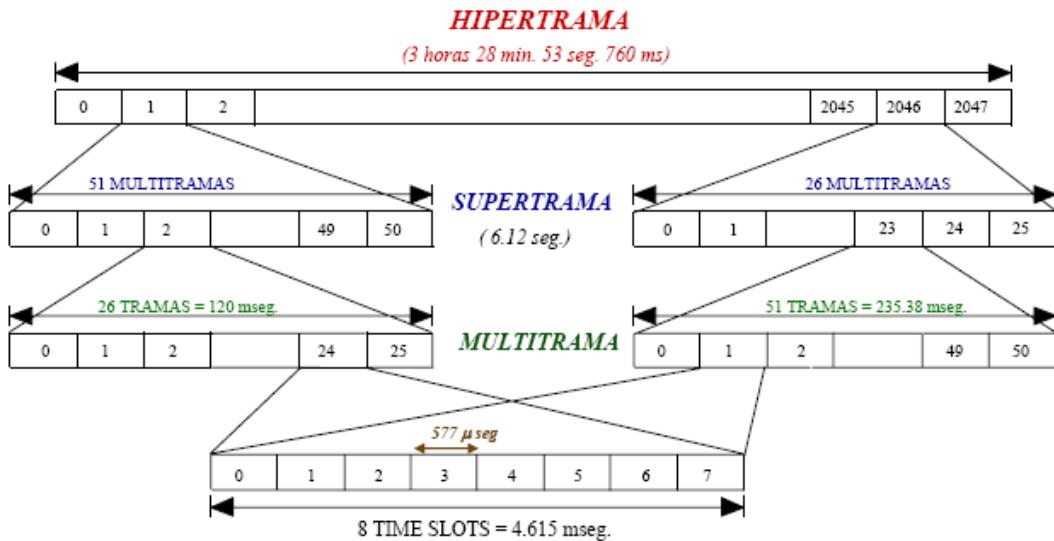
c) Acceso (UL)



- Ráfagas de relleno o “Dummy Burst”



La sucesión de ráfagas conforman estructuras mayores, así tenemos multitramas, supertramas e hipertramas. La formación de estas estructuras se ven en el siguiente apartado:



3.3.5.2 GMSK - Gaussian minimum shift keying

Es el tipo de modulación empleado por GSM.

GMSK es un esquema de modulación binaria simple derivado de MSK. En GMSK, los lóbulos laterales del espectro de una señal MSK se reducen pasando la información a través de un filtro Gaussiano de premodulación. El filtro gaussiano aplana la trayectoria de fase de la señal MSK y por lo tanto estabiliza las variaciones de la frecuencia instantánea a

través del tiempo. Esto tiene el efecto de reducir considerablemente los niveles de los lóbulos laterales en el espectro transmitido.

Al filtrar, los datos que originalmente ocupaban en banda base un periodo T , dan como respuesta símbolos que ocupa varios períodos. Sin embargo, dado que esta conformación de pulsos no cambia el modelo de la trayectoria de la fase, GMSK se puede detectar coherentemente como una señal MSK, o no coherentemente como una señal simple FSK. En la práctica, GMSK es muy atractiva por su excelente eficiencia de potencia y espectral. El filtro de premodulación introduce interferencia intersimbólica ISI (Inter-Symbol Interference) en la señal transmitida, pero esta degradación no es grave si el producto BT (ancho de banda del filtro por el periodo), parámetro característico del filtro Gaussiano, es mayor de 0.5. Debido que en GSM se tiene que BT es 0.3, se tienen algunos problemas de ISI y debido a esto la señal no es totalmente de envolvente constante.

La manera más simple de generar una señal GMSK es pasar una cadena de mensajes a través de un filtro gaussiano paso baja seguido de un modulador de FM (ver figura 3.10). Esta técnica de modulación se usa actualmente en una gran cantidad de implementaciones analógicas y digitales, entre ellas en GSM.

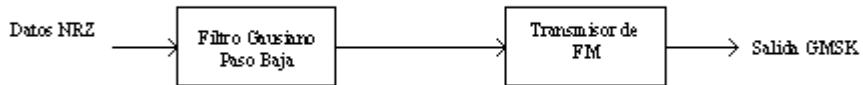


Figura 3.10.- Protocolos MAP/X

3.3.5.3 Canalización GSM

Los canales lógicos definidos en GSM se dividen en canales de tráfico y canales de control. Los canales de tráfico pueden llevar voz digitalizada o datos de usuario en dos modos distintos:

- Full Rate. Los datos de usuario tienen asignados una ranura de tiempo o slot en cada trama.
- Half Rate. Se transportan los datos de usuario en una ranura en tramas alternadas (dos usuarios en modo half rate pueden compartir el mismo slot, salvo que en tramas alternas). De esta forma cada trama podrá soportar el doble de llamadas (16).

En cuanto a los canales de control, existen tres categorías:

- BCHs (Broadcast Channels). FCCH, SCH y BCCH.
- CCCHs (Common Control Channel). PCH, AGCH y RACH.
- DCCHs (Dedicated Control Channel). SDCCH, SACCH y FACCH.

Los canales de control pueden a su vez catalogarse en orden a su sentido entre BTS y MS. En función de esta característica podemos catalogarlos como sigue:

- BTS → MS: FCCH, SCH, BCCH, PCH y AGCH.
- MS → BTS: RACH.
- Bidireccional: SDCCH, SACCH y FACCH.

Vemos a continuación la finalidad de estos canales (*Ref.B-1*):

- FCCH – Frequency Correction Channel. Es el primer canal lógico en la secuencia de control, y gracias a él el MS puede encontrar y sincronizarse con el canal SCH.
- SCH – Synchronization Channel. El canal de sincronización contiene una secuencia de entrenamiento, la misma para todo GSM, que permite sincronización exacta, así como información de BSIC, “Time Advance” (distancia MS-BTS), y número de secuencia dentro de la hipertrama
- BCCH – Broadcast Control Channel. Contiene información útil para emitir/recibir solicitudes de llamada. Esta información es común a todos los MS servidos por una misma BTS (misma célula de cobertura).
- PCH – Paging Channel. Transmite el IMSI del abonado destino de una llamada entrante a la BTS. Esta información se hace común a todas las MS de la BTS, y se le solicita al receptor la emisión del RACH.
- AGCH – Access Grant Channel. Contiene información sobre el canal físico en el que debe operar un MS (frecuencia y time slot asignado), así como indicaciones del canal de control dedicado asignado. El AGCH es una respuesta de la BTS ante un RACH de un MS, ya sea RACH en respuesta al PCH o como consecuencia de que el usuario quiere cursar una llamada propia.
- RACH – Random Access Channel. Se forma con los slots de los canales de control en sentido MS → BTS, y será usado por el MS para originar llamadas, enviar mensajes de señalización cuando no esté en una llamada en curso, envío de ACKs a la BTS (a mensajes de paging, por ejemplo), o registrarse en la red.
- SDCCH – Standalone Dedicated Control Channel. Canal fiable dedicado para el transporte de información de señalización. Garantiza que MS y BTS se mantengan comunicados mientras MSC y BTS verifican la identidad del usuario y se reservan los recursos para la llamada. El SDCCH se concede a través del AGCH y se libera una vez establecida la llamada. Todo SDCCH tiene un canal SACCH asociado.
- SACCH – Slow Associated Control Channel.

En el DL transporta:

- Mensajes de broadcast.
- Información de control de potencia.
- Información de Timing Advance.

En el UL transporta:

- Informes de medidas.
 - ACKs a mensajes de control de potencia.
 - ACKs a mensajes de Timing Advance.
- FACCH – Fast Associated Control Channel. “Robará” tiempo a los canales de voz para dedicárselo a este canal cuando el SACCH no sea lo suficientemente rápido para el proceso de handoff.