

# INFRAESTRUCTURA DE UNA RED GSM

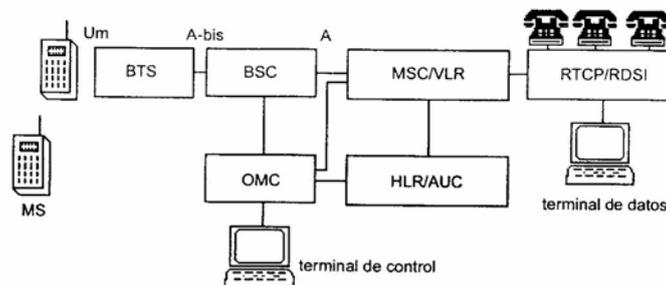
## 4.1 PRESENTACIÓN

La **figura 4.1** presenta el equipamiento que compone una red GSM. Una red caracteriza por sus equipos y, para conectar estos últimos, sus interfaces. Todos estos elementos proporcionan los servicios normalizados.

### 4.1.1 Equipos funcionales de una red

Los equipos que se encuentran en una red y sus funciones son:

- el Terminal de abonado es una estación móvil (Mobile Station, MS);
- la estación base es un emisor / receptor de radio (Base Transceiver Station, BTS), que enlaza las estaciones móviles con la infraestructura fija de la red;
- el controlador de estación base (Base Station Controller, BSC) administra un grupo de estaciones base;
- el conjunto constituido por las estaciones base y su controlador constituye un subsistema de radio (Base Station Subsystem, BSS);
- el conmutador de red (Mobile Switching Centre, MSC) proporciona el acceso hacia las redes telefónicas y RDSI;
- el registro de localización de visitantes (Visitor Location Register, VLR) es una base de datos en la cual se inscriben temporalmente los abonados de paso en la red:



terminales de abonados	subsistema de radio	subsistema de red	red telefónica conmutada pública
------------------------	---------------------	-------------------	----------------------------------

MS	Terminal de abonado ( <i>Mobile Station</i> )		
BTS	Estación base ( <i>Base Transceiver Station</i> )		
BSC	Controlador de estación base ( <i>Base Station Controller</i> )		
OMC	Centro de control y mantenimiento ( <i>Operation and Maintenance Centre</i> )		
HLR	Registro de abonados locales ( <i>Home Location Register</i> )		
AUC	Centro de autenticación ( <i>Authentication Centre</i> )		
MSC	Conmutador de red GSM ( <i>Mobile Switching Centre</i> )		
VLR	Registro de localización de visitantes ( <i>Visitor Location Register</i> )		
RTCP	Red Telefónica Conmutada Pública		
Um	Interfaz de radio MS ↔ BTS		
A-bis	Interfaz BTS ↔ BSC		
A	Interfaz BSC ↔ MSC		
X.25	Interfaz BSC ↔ OMC		

**Figura 4.1** Descripción de una red GSM.

- el registro de abonados locales (Home Location Register, HLR) es la base de datos en donde los abonados de la red se encuentran referenciados;
- el centro de autenticación de abonados (Authentication Centre, AUC) es una base de datos protegida donde se controla los códigos confidenciales de los abonados;

- el conjunto formado por el conmutador, el registro de localización de visitantes, el registro de abonados locales y el centro de autenticación de los abonados constituye un subsistema de red (Network Subsystem, NSS);
- el centro de control y mantenimiento (Operation and Maintenance Centre, OMC) garantiza la explotación técnica y comercial de la red.

#### **4.1.2 Interfaces de la red**

Las interfaces son también componentes de la red. Soportan el diálogo entre los equipos y permiten que funcionen entre sí. La normalización de las interfaces garantiza la correcta interacción entre heterogéneos producidos por distintos fabricantes. En consecuencia, el ETSI ha normalizado las siguientes interfaces:

- la interfaz de radio Um está localizada entre la estación móvil y la estación base MS BTS. Se trata de la interfaz más importante de la red;
- la interfaz A-bis conecta una estación base con su controlador BTS BSC. El soporte es un enlace por hilos MIC;
- la interfaz A se sitúa entre un controlados y un conmutador de BSC MSC. Un enlace MIC a 64 kbits / s materializa su realización;
- la interfaz X.25 conecta un controlador con el centro de control BSC OMC. El soporte del enlace es proporcionado por una red de transmisión de datos;
- la interfaz entre el conmutador y la red pública viene definida por el protocolo de señalización Nº 7 del CCITT.

### **4.2 EQUIPAMIENTO DE UNA RED GSM**

#### **4.2.1 Estación base, BTS**

La célula es la unidad básica para la cobertura por radio territorio. Una estación base BTS garantiza la cobertura radioeléctrica en una célula de la red. Proporciona el punto de entrada a la red a los abonados presentes en su célula para recibir o para transmitir llamadas. Una estación base controla, como máximo, ocho comunicaciones simultáneas. El multiplexado AMRT de orden 8 utilizado es el que impone este límite. La superficie de una célula varía enormemente entre los espacios urbanos y los espacios rurales. En los urbanos, donde la densidad de tráfico es importante, el tamaño de las células es pequeño para aumentar la capacidad de comunicación por unidad de superficie. El radio de una célula en este entorno puede llegar a su límite más bajo, impuesto por los costes de infraestructura y las condiciones de propagación de las ondas de radio (unos 200 m). Por el contrario, en los espacios rurales, la densidad de tráfico es mucho más pequeña y, por tanto, las dimensiones de las células son mucho mayores (30 km), siendo la potencia de los emisores la que determina el límite. Una estación base es esencialmente un conjunto emisor / receptor que, por sí mismo, constituye un elemento más en la cadena de comunicación. Una estación base se puede controlar, bien localmente si es necesario, o bien de forma remota a través de su controlador de estación base.

#### **4.2.2 Controlador de estaciones base, BSC**

Un controlador de estacione base se encarga de gestionar una o varias estaciones. Cumple diferentes funciones de comunicación y de explotación. Para el trafico abonado procedentes de las estaciones base, se comporta como un concentrador, para el tráfico que proviene del conmutador, actúa como un enrutador hacia la estación base destinataria. En las funciones de explotación de la red, el controlador es, por un lado, un repetidor para las alarmas y las estadísticas procedentes de las estaciones base y destinadas al centro de control y mantenimiento; por otro, es una base de datos para las versiones software y los datos de

configuración que el operador carga de forma remota en las estaciones base que pasan por el controlador. Almacena y proporciona información bajo petición del operador o de una estación base que entra en funcionamiento. Para el operador, el controlador gestiona los recursos de radio de su zona, constituido por el conjunto de células que tienen asociadas. En consecuencia, asigna las frecuencias de radio que puede utilizar una de sus estaciones base.

El controlador gestiona igualmente las transferencias entre células cuando una estación atraviesa la frontera entre dos células. En este punto, avisa a la célula que se va a hacer cargo del abonado y le pasa toda la información necesaria. Igualmente, el controlador notifica a la base de datos HLR a la nueva localización del abonado. Naturalmente, este equipo constituye una etapa hacia los terminales de abonados en la cadena de transmisión de los teleservicios o en la búsqueda de un abonado para una llamada que llega del conmutador. Para el centro de control y mantenimiento, el controlador es el único equipo del subsistema de radio que se puede dirigir directamente de forma remota, ya que toda la gestión técnica de las estaciones base pasa por él.

La figura 4.2 presenta un controlador y los equipos conectados a él, un cluster formado por tres estaciones base, el centro de control y mantenimiento, y el conmutador.

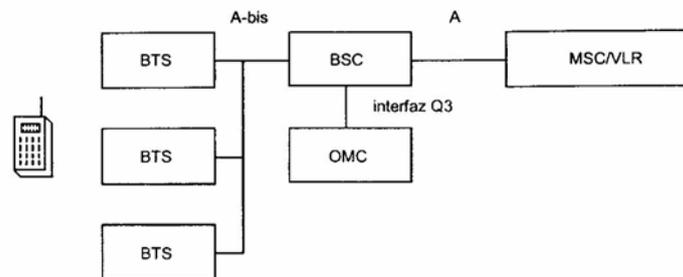


Figura 4.2 Las interfaces del subsistema de radio.

#### 4.2.3 Conmutador, MSC

El conmutador se encarga de interconectar la red de radiotelefonía con la red telefónica pública. Para ello tiene en cuenta las eventualidades introducidas por la movilidad, la transferencia intercelular y la gestión de los abonados visitantes, que son los abonados de otras redes en tránsito por la suya. El autoconmutador de tipo RDSI es el que con más frecuencia se encuentra en las redes, mejorando con las funcionalidades complementarias particulares para este tipo de uso. El conmutador es un nodo muy importante, y proporciona acceso hacia el centro de autenticación que verifica los derechos de los abonados. Participa en la gestión de la movilidad de los abonados y, por tanto, Ens. Localización en la red, pero también en el suministro de todos los teleservicios ofrecidos por la red: vocales, suplementarios y mensajería.

#### 4.2.4 Registro de abonados locales, HLR

El registro de abonados locales es una base de datos que contiene información relativa a los abonados de la red. Una red puede tener varias de estas bases, según la capacidad de las máquinas, la fiabilidad u otros criterios de explotación elegidos por el operador. En esta base de datos, un registro por cada uno de los abonados describe con detalle las opciones contratadas y los servicios suplementarios a los que tiene acceso el abonado. A esta información estática están asociadas otras informaciones dinámicas, como la última localización conocida del abonado, el estado de su Terminal (en servicio, en comunicación, en reposo, fuera de servicio, etc.). El HLR diferencia la entidad de abonado de la Terminal. Un abonado puede utilizar el Terminal de otro abonado sin ningún problema de facturación, ya que un abonado es reconocido por la información contenida en su tarjeta de abono, llamada Subscriber Identity Module (SIM), que es una tarjeta inteligente (con microprocesador) personal para cada abonado. Cuando un abonado

utiliza un servicio de red, una parte de la información contenida en esta tarjeta se transmite a su base de datos HLR que reconoce al abonado, de esta forma, la red distingue las dos entidades, abonado y Terminal.

La información dinámica relativa al estado y a la localización de un abonado se actualiza constantemente, así, los mensajes que hay que enviar al abonado, el número de teléfono destinatario en caso de un reenvío temporal se memorizan en el HLR. La información dinámica es particularmente útil cuando la red encamina una llamada hacia el abonado. Antes de nada, la red empieza por consultar su HLR para conocer la última localización conocida, el último estado de Terminal de abonado y la fecha de esos datos. La mayor diferencia entre una red telefónica por hilos y una red de radiotelefonía es la movilidad del Terminal del abonado. En una red por hilos, un número de teléfono se asocia a la dirección del aparato fijo localizado en un determinado lugar. El sistema es por tanto capaz de determinar rápidamente un camino entre el emisor de una llamada y su destinatario. Esta hipótesis se queda obsoleta en el caso de una red con móviles, donde hay que determinar el camino interrogando sucesivamente a las bases de datos para encontrar al destinatario en la red y después dirigir allí la llamada. El HLR contiene también la clave secreta del abonado, que permite a la red verificar su identidad. Esta clave se guarda en un formato codificado que sólo el centro de autenticación de red es capaz de descifrar.

#### **4.2.5 Centro de autenticación, AUC**

El centro de autenticación, AUC, es una base de datos que almacena información confidencial, que se encuentra localizada en una dependencia cuya entrada está restringida y donde sólo se permite el acceso a personal autorizado. Antes de acceder a la base de datos, este personal debe proporcionar una contraseña de acceso. Además, la información contenida en la base se escribe en los soportes físicos de forma codificada. El centro de autenticación controla los derechos de uso que cada abonado posee sobre los servicios de la red. Esta comprobación se efectúa para cada solicitud de uso de cualquier servicio formulada por el abonado. Este control se hace con vistas a proteger tanto al proveedor de servicios como a los abonados. En efecto, al operador le interesa conocer sin ambigüedades la identidad de todo aquel que utilice su red, con el fin de facturar el importe del servicio prestado.

Por otro lado, la identificación certera de un usuario protege a cada abonado contra el uso fraudulento de su abonado y le evita, por tanto, correr con los gastos ante un posible defraudador. Dado que el uso de la red está vetado a los defraudadores, no es posible ninguna reclamación en cuanto a facturación. Los abonados saben que se les está cobrando realmente por los servicios que utilizan. Esta identificación se efectúa en dos etapas. La primera es local: cuando entra en servicio su Terminal, un abonado debe identificarse mediante una firma electrónica. Para ello, introduce su código secreto mediante el teclado del Terminal, que es verificado por el microprocesador de la tarjeta de abonado SIM que previamente se ha insertado en el lector del aparato. Una vez que se ha introducido el código esperado, puede empezar a utilizar el aparato. La segunda etapa de identificación se realiza cuando el abonado quiere utilizar un servicio de red. En un primer momento, la red solicita al Terminal que le proporcione la identidad del abonado, representada por su número de abonado. A continuación, la red solicita al abonado que demuestre su identidad utilizando un algoritmo grabado en un espacio de memoria, protegido contra lectura, de su tarjeta. Una copia de este algoritmo se encuentra también almacenado en el centro de autenticación. De esta forma, el algoritmo secreto nunca por la red, únicamente lo hace el resultado del cálculo efectuado con este algoritmo, en forma de código. El centro de autenticación, haciendo una simple comparación entre el cálculo recibido y el esperado, valida o no el acceso al abonado.

Un número de abonado es una información que no está protegida, aunque diferente al número telefónico. Sin embargo, un defraudador puede conocer el número de abonado a través de alguno de sus contactos. Si este defraudador se hace pasar por un número de abonado que

conozca, cuando el centro de autenticación le pida que demuestre su identidad, éste será incapaz de hacerlo. El centro de autenticación le desenmascara entonces y le impide el uso de los servicios de la red. Cuando un abonado es correctamente válido, la red interroga al registro de abonados locales, HLR, para conocer las opciones suscritas en el contrato de abono y los derechos de acceso al servicio solicitado. Si los derechos son válidos, el abonado accede al servicio requerido.

#### **4.2.6 Registro de localización de visitantes, VLR**

El registro de localización de visitantes es una base de datos asociada a un conmutador MSC. Su misión es almacenar la información dinámica relativa a los abonados de paso por la red. Esta gestión es muy importante, ya que en cada instante la red debe conocer la localización de todos los abonados presentes en ella, es decir, debe saber en qué célula se encuentra cada uno de ellos. En el VLR, un abonado se describe, en particular, por un identificativo y una localización. La red debe conocer esta información, que es fundamental para estar en condiciones de encaminar una llamada hacia un abonado o para establecer una comunicación requerida por un abonado visitante con destino a otro abonado. Dado que la característica de los abonados GSM es la movilidad, es necesario tener localizados permanentemente a todos los abonados presentes en la red y seguir su desplazamiento. Para cada cambio de célula de un abonado, la red debe actualizar el VLR de la red visitada y el HLR del abonado, de ahí que se produzca un diálogo permanente entre las bases de datos de la red. La actualización del HLR es importante para el tratamiento de las llamadas destinadas a un abonado. En efecto, cuando la red quiere localizar a un abonado, empieza por preguntar al HLR para conocer la última localización conocida de él para comprobar su presencia. La red estaría entonces en condiciones de trazar el camino entre el solicitante y el solicitado, es decir, de encaminar la llamada.

Un subsistema de red, llamado también NSS, se compone de los equipos siguientes: registro de abonados locales, el centro de autenticación, el conmutador del servicio móvil y el registro de localización de visitantes. Sus misiones se centran en la gestión de llamadas, la gestión de movilidad, la gestión de servicios suplementarios y gestión de mensajería

#### **4.2.7 Encaminamiento de llamadas**

Veamos dos tipos de llamadas que ilustran la interacción que existe entre los equipos de la red:

- la llamada de un abonado de la red GSM hacia un abonado RTCP/RDSI;
- la llamada de un abonado de la red pública RTCP/RDSI hacia un abonado de la red GSM.

Para emitir una llamada, el abonado de la red GSM introduce el número de su interlocutor. Su petición llega a la BTS de su célula después pasa por el BSC para terminar en el conmutador de red, donde el abonado es, en primer lugar, auténtico y acto segundo se comprueba sus derechos de uso. El conmutador MSC transmite entonces la llamada a la red pública y solicita al controlador BSC la reserva de un canal para la futura comunicación queda establecida.

Cuando un abonado de red pública RTCP/RDSI llamada a un abonado de la red GSM, los procesos son diferentes y más numerosos. Cuando el abonado de la red RTCP/RDSI marca el número, a priori, no se establece ningún control por parte de la red, si acaso, una eventual restricción de llamadas salientes. El número solicitado se analiza por el conmutador del que depende el abonado, y a continuación, la llamada es dirigida hacia la red GSM para interrogar al HLR por el número telefónico solicitado a fin de localizar al destinatario. El HLR de un abonado de la red móvil es la base de datos capaz de proporcionar información para localizar al abonado y conocer el estado de su Terminal (libre, ocupado, libre de servicio). Cuando el llamado está libre, la red interroga al VLR que guarda su registro para conocer la célula y el controlador de estación BSC de la zona al que está enlazado. La red está entonces en condiciones de activar el zumbador del Terminal llamado y de reservar un camino entre el

abonado llamante y el llamado. A fin de activar el zumbador del Terminal llamado, el controlador BSC de la zona difunde un aviso de llamada a través del conjunto de estaciones BTS de su zona hacia el Terminal llamado, el cual, como está a la escucha en la red, reconoce su número y activa el zumbador del Terminal. Únicamente cuando el abonado llamado descuelgue, la red proporcionará definitivamente los recursos reservados para la comunicación. Al mismo tiempo, las bases de datos VLR y HLR registran la nueva situación del abonado.

#### **4.2.8 Centro de control y mantenimiento, OMC**

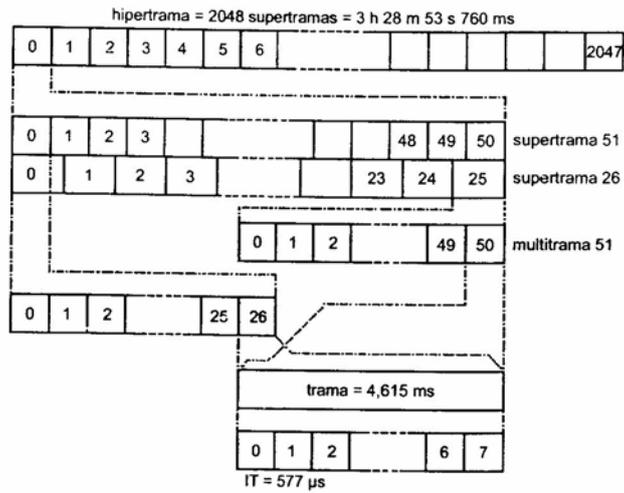
El centro de control y mantenimiento es la entidad encargada de la gestión y explotación de la red. La entidad engloba la gestión administrativa de los abonados y la gestión técnica de los equipos. La gestión administrativa y comercial de la red se ocupa de los abonados en términos de altas, modificaciones, bajas y facturación. Una buena parte de la gestión administrativa interactúa con la base de datos HLR. La gestión comercial solicita a los conmutadores de red las estadísticas para conocer los hábitos y los tiempos de espera de los abonados y, según la información recogida, la dirección comercial adapta las tarifas para distribuir el tráfico a lo largo de la jornada o para potenciar aquellos servicios más solicitados. La gestión se encarga de garantizar la disponibilidad y la correcta configuración material de los equipos de la red. Su línea de trabajo supervisa las alarmas emitidas por los equipos, la reparación de averías, la gestión de las versiones del software, la evaluación del rendimiento, la gestión de la seguridad. La mayoría de estas tareas de gestión se realizan de forma remota mediante un sistema de telecontrol que trabaja por una red de transferencia de datos distinta a la red de telecomunicación GSM.

### **4.3 TRANSMISIÓN POR RADIO**

#### **4.3.1 Canales físicos**

A nivel de la interfaz Um, el GSM utiliza dos técnicas de multiplexado, el frecuencia AMRF- acceso múltiple por división de frecuencia- y el temporal AMRT- acceso múltiple por división de tiempo-. El multiplexado frecuencial AMRF divide en 124 canales, de 300 kHz de anchura cada uno, las dos bandas de frecuencia (890- 915 MHz) Terminal-estación base y (935- 960 MHz) estación base-Terminal, para ofrecer 124 canales de comunicación dúplex en paralelo, con un canal reservado para cada sentido de comunicación. El multiplexado temporal AMRT reparte el uso de un canal de transmisión entre 8 comunicaciones diferentes. Un canal de transmisión de radio ofrece una velocidad D por unidad de tiempo, esta velocidad se divide por ocho para transmitir sucesivamente las ocho comunicaciones con una velocidad  $d = D/8$  para cada uno. Cada comunicación ocupa un intervalo temporal, IT, con una duración de 577ms. La suma de los 8 IT constituye una trama, que es la unidad de tiempo básica. Una trama dura 4.615 ms en el GSM. De esta forma, el multiplexado temporal optimiza la utilización de la capacidad de transmisión del canal. En telefonía, la velocidad media es baja, ya que, por un lado, son frecuentes los silencios en una conversación y, por otra, un único interlocutor está activo en un instante dado. Para una conversación, dos mensajes sucesivos de datos viajan en dos tramas sucesivas, estos mensajes están separados por un instante de 4.615 ms de duración, aunque un proceso de síntesis vocal se encarga de restituir la continuidad de la palabra.

La norma GSM establece una organización precisa para las múltiples tramas, que son la multitrama, la supertrama y la hipertrama. La figura 4.3 y la tabla 4.1 presentan la jerarquía de estas tramas.



**Figura 4.3** Descripción de la jerarquía de las tramas AMRT.

Una trama se divide en ocho intervalos temporales con una duración de 577 ms. Cada intervalo constituye un canal de comunicación en el cual un paquete es un conjunto estructurado de bits.

**Tabla 4.1** Jerarquía de las tramas GSM.

multitrama 51 = 51 tramas AMRT
multitrama 26 = 26 tramas AMRT
supertrama 51 = 51 multitramas 26 = 1.326 tramas
supertrama 26 = 26 multitramas 51 = 1.326 tramas
hipertrama = 2.048 supertramas = 2.715.648 tramas

### 4.3.2 Tipología de los paquetes

La norma define cuatro tipos de paquetes:

- de acceso;
- de sincronización;
- normal.

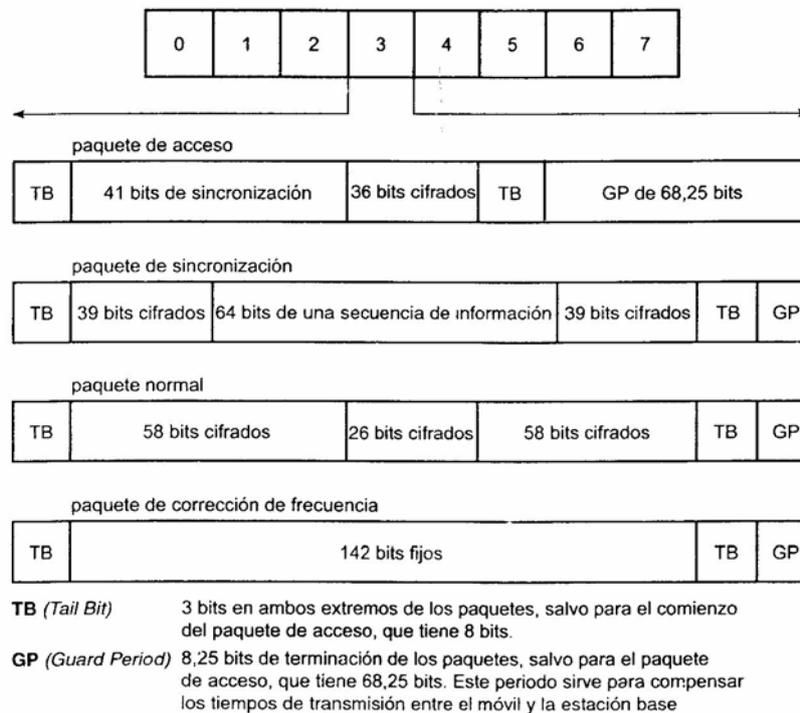
Como su nombre sugiere, cada uno de estos tipos tiene definido un uso específico y una estructura particular.

Cabe destacar que todos los tipos de paquetes poseen una estructura formada por cuatro zonas (figura 4.4).

<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>
TB	cuerpo	TB	GP

**Figura 4.4** Estructura de los paquetes GSM.

La figura 4.5 nos presenta la estructura de los tipos de paquetes.



**Figura 4.5** Tipología de los paquetes GSM.

La estructura de un paquete está formado por un cuerpo portador de información útil, precedida y seguida por una zona TB. La cola es un periodo de guarda GP que sirve para compensar la duración de la transmisión, variable para un receptor de un paquete al siguiente, ya que o bien el receptor o bien el emisor habrá cambiado de lugar. Un intervalo de tiempo IT de 577 ms es equivalente a la duración de emisión de 156,25 bits. Dicho de otra forma, un canal de transmisión permite una velocidad bruta de 370 kbit/s, aunque la velocidad máxima útil para un abonado es de 13 kbit / s.

### Paquete del acceso

Todos los móviles contactan con la red emitiendo un paquete de acceso por el canal de acceso dedicado. El de acceso es el más pequeño de los paquetes, ya que transportan 77 bits (41 bits de sincronización y 36 bits de información) y dispone del periodo de guarda GP mayor: 68.25 bits, es decir, 252ms. Este periodo de guarda permite establecer comunicaciones con estaciones móviles que estén a 35 km de distancia de la estación base BTS. La red estima permanentemente la duración del viaje de un paquete y establece en consecuencia el instante de inicio de emisión de la estación móvil para compensar el retardo debido a la propagación de las ondas de radio entre el móvil y la estación. En sincronismo difundido por la estación base.

### Paquete de sincronización

El paquete de sincronización transporta 142 bits entre los cuales se encuentran 78 bits de información para las estaciones móviles, portadoras de datos a propósito de su localización en la red (identificación de la estación base, identidad de la célula, identidad de la zona) y de la frecuencia de acceso en esta red.

### **Paquete normal**

El paquete normal transporta 142 bits de información. Los 26 bits centrales son una secuencia de aprendizaje que sirve para ajustar los parámetros de recepción. 2 bits indican el tipo de utilización del canal (datos, señalización), 6 bits predefinidos señalan un aumento o un descenso de la amplitud, la zona TB tiene duración de 8,25 bits. Este tipo de paquete transporta los datos de una comunicación de un abonado de la red.

### **Paquete de corrección de frecuencia**

El paquete de corrección de frecuencia transporta 142 bits de información y lo genera la estación base.

### **Modulación GMSK**

El tipo de modulación del GSM es la GMSK. Se trata de una modulación con desplazamiento mínimo y filtro gaussiano que optimiza la eficacia espectral y limita las interferencias con los canales adyacentes a pesar de conseguir un buen flujo útil. La recepción debe adaptarse a una alteración variable debida a las múltiples trayectorias o a las interferencias por canal común

#### **4.3.3 Canales lógicos**

Un canal físico de una trama AMRT es un intervalo de tiempo elemental de 577 ms que soporta una combinación de canales lógicos. Los canales lógicos pueden transportar tanto datos de una comunicación como información de señalización dirigida a la estación móvil o a la estación base. Se han definido dos familiares de canales lógicos:

- tráfico, para los datos de las comunicaciones;
- señalización, para los datos de servicio entre equipos.

#### **Canales de tráfico**

Una multitrama de 26 tramas transporta 24 tramas de tráfico, Traffic Channel (TCH), una trama de señalización, Show Associated Channel (SACCH) y una última trama que no se utiliza. Los canales de tráfico transportan voz o datos, y se dividen en dos familias: los canales a velocidad total y los canales a velocidad mitad. Estos últimos se obtienen utilizando un promedio de un paquete de cada dos, ofreciendo una velocidad vocal codificada de 6.5 kbit / s. La utilización de canales a velocidad mitad permite duplicar la capacidad de la red. Un canal de velocidad total tiene una capacidad de transmisión de 13 kbit / s para la voz. A un canal de tráfico se le llama Traffic Channel. La tabla 4.2 ofrece una lista de los canales utilizados para el intercambio de información entre una estación base y una estación móvil.

#### **Canales de señalización**

La familia de canales de señalización es más numerosa que la de los canales de tráfico. Estos canales se dividen en cuatro categorías:

- canales de difusión, Broad Casting Channel (BCCH):
- canales de control común;
- canales dedicados;
- canales asociados.

**Tabla 4.2** Canales de tráfico.

Palabra a velocidad total	TCH/FS	BS ↔ MS	Palabra
Palabra a velocidad mitad	TCH/HS	BS ↔ MS	Palabra
Datos a 9,6 kbit/s velocidad total	TCH/F 9,6	BS ↔ MS	Datos
Datos a 4,8 kbit/s velocidad total	TCH/F 4,8	BS ↔ MS	Datos
Datos a 2,4 kbit/s velocidad total	TCH/F 2,4	BS ↔ MS	Datos
Datos a 4,8 kbit/s velocidad mitad	TCH/H 4,8	BS ↔ MS	Datos
Datos a 2,4 kbit/s velocidad mitad	TCH/H 2,4	BS ↔ MS	Datos

La tabla 4.3 ofrece los canales de difusión utilizados para el diálogo entre una estación base y una estación móvil.

**Tabla 4.3** Canales de difusión.

	Acronimo	Sentido	Aplicación
Canales de difusión	BCCH	BS ⇒ MS	Difusión de información general
• Subcanal de sincronización	SCH	BS ⇒ MS	Sincronización de las estaciones móviles
• Subcanal de control de frecuencia	FCH	BS ⇒ MS	Control de frecuencia de una estación móvil

**Tabla 4.4** Canales de control común.

	Acronimo	Sentido	Aplicación
Canal de asignación	AGCH	BS ⇒ MS	Asignación de recursos
Canal de búsqueda	PCH	BS ⇒ MS	Llamada a una estación móvil
Canal de acceso aleatorio	RACH	BS ⇒ MS	Solicitud de recurso por la estación móvil

**Tabla 4.5** Canales asociados.

	Acronimo	Sentido	Aplicación
Canal rápido a velocidad total	FACCH/F	BS ↔ MS	
Canal rápido a velocidad mitad	FACCH/H	BS ↔ MS	Señalización usuario-red
Canal lento	SACCH/TF	BS ↔ MS	Transmisión de medidas radioeléctricas. Este canal se asigna con un TCH/FACCH o SDCCH
Canal lento	SNCCH/TH	BS ↔ MS	
Canales lentos asociados	SACCH/C4	BS ↔ MS	Transmisión de medidas radioeléctricas. Este canal se asigna con un SACCH

**Tabla 4.6** Canales de señalización dedicados.

	Acronimo	Sentido	Aplicación
Canales de señalización dedicados	DCCH	BS ↔ MS	
• Canales asociados que comparten un mismo canal físico	SDCCH/4	BS ↔ MS	Señalización usuario-red asignado con un SACCH
• Canales no asociados que están en canales físicos separados	SDCCH/8	BS ↔ MS	Señalización usuario-red asignado con un SACCH

Un canal de tráfico transporta la información; esta información puede ser tanto voz como datos. Un canal lógico a velocidad total permite transmitir la palabra codificada a 13 kbit / s o datos a una velocidad binaria de 300 a 9,600 bit/s. Durante una comunicación, un canal de señalización está asociado al canal de tráfico. Un canal de señalización permite monitorizar el enlace de radio entre el Terminal y la estación base (ajuste de la potencia de emisión, medida de la calidad, etc.); soporta mensajes no urgentes. Durante las fases de establecimiento y liberación de la comunicación, un canal de tráfico se utiliza provisionalmente como un canal de señalización rápido.

A parte de los periodos de comunicación, los canales de señalización cumplen las siguientes funciones:

- sincronización de Terminal con el canal (SCH);
- sincronización de la estación base (Broadcast Control Channel, BCCH);
- llamada de un Terminal (Paging CHannel, PCH);
- señalización punto a punto (Standalone Dedicated Control CHannel, SDCCH);
- autorización de acceso a un abonado (Access Grant CHannel, AGCH);
- solicitud de un Terminal (Random Access CHannel, RACH).

### **Sincronización de los terminales**

Periódicamente, la estación base difunde por el canal SDCH los paquetes de sincronización para que los terminales sincronicen su reloj.

### **Identificación de la estación base**

La estación base difunde regularmente sobre el canal BCCH información general hacia las estaciones móviles para que éstas últimas puedan localizarse en la red y conocer las opciones en vigor. Esta información proporciona el nombre de la estación base, el de la célula, la zona de localización y el canal de señalización DCCH.

### **Llamada de un Terminal page**

La estación base emite sobre el canal PCH las llamadas hacia los terminales solicitados por un interlocutor, para que inicie el proceso de establecimiento de llamada.

### **Asignación de un canal de tráfico**

Un canal de autorización de acceso sirve para conceder un canal de tráfico para una conexión entre el Terminal y la estación base.

Autenticación de un abonado

Antes del establecimiento de una conexión de tráfico, el abonado y el Terminal deben ser autenticados; un canal de señalización es el encargado de transportar esta información.

### **Solicitud de un Terminal**

Un canal de acceso aleatorio sirve para transmitir una petición del Terminal para activar un intercambio de información.

### **Codificación de un canal**

Son diversos de perturbaciones que pueden alterar una transmisión de radio (véase el apartado 2 del capítulo 1):

- ruido;
- intermodulación;

- interferencia;
- desvanecimiento de la señal debido a múltiples reflexiones (fading).

La codificación de la información transmitida sobre el canal físico intenta minimizar la tasa de error influenciada por las causas que perturban la señal de radio citadas anteriormente. Para ello, tres son las técnicas que se utilizan conjuntamente:

- codificación en bloque con un bit de paridad añadido al bloque. Esta técnica permite la detección de errores sobre un número impar de bits del bloque de código;
- una codificación recurrente, en bloques asociados a la estimación de verosimilitud máxima (algoritmo de Viterbi). Con un código recurrente, la información no se divide en mensajes independientes. La codificación resultante es una sucesión de bits que incluye dígitos de redundancia, colocados de forma regular. Sobre N dígitos, cualquiera que sea el origen elegido (# 1), se cuenta M dígitos para la información útil y  $K = N - M$  dígitos de redundancia;
- el entrelazado por bloques de 464 elementos binarios.

La figura 4.5 muestra cómo se lleva a cabo estas técnicas.

El GSM no emplea la codificación tradicional de la palabra utilizada en telefonía, la modulación por impulsos codificados (MIC) asociada a la ley A.

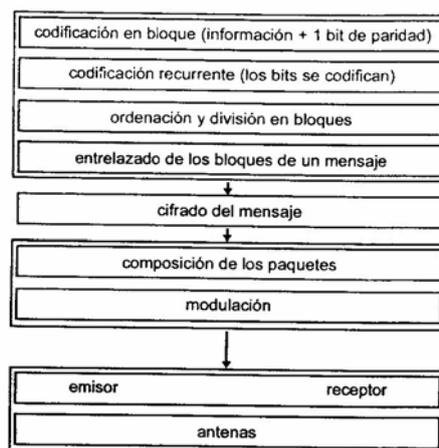
Este código impone una velocidad de 64 kbit/s, demasiado grande para la capacidad de un canal de radio. En consecuencia, el GSM utiliza una ley ADMP, que es menor exigente en términos de velocidad mitad, sin degradar, no obstante, la calidad del sonido.

#### 4.4 CAPA NÚMERO 2: ENLACE DE DATOS

El protocolo de la capa n.º 2 de la OSI garantiza la gestión de la señalización entre las diferentes entidades de la red (estación móvil, BTS, BSC, MSC, VLR, HLR).

En el GSM se emplean tres familias de protocolos para la capa número 2:

- LAPDm: protocolo de acceso al enlace sobre el canal D móvil;
- LAPD: a nivel de la interfaz A- bis;
- MTP: transferencia de mensajes del CCITT.



**Figura 4.6** Codificación de la información que se transmite.

Los protocolos LAPD y LAPDm utilizados en el subsistema de radio están muy cerca del protocolo RDSI. Sin embargo, el LAPDm saca partido de la transacción sincronizada para evitar el empleo de indicadores y aumentar la velocidad y la protección contra errores.

La voz puede transmitirse con un flujo de 13 kbit/s en el subsistema de radio, lo que permite multiplexar cuatro canales de radio sobre un IT MIC en el enlace BTS BSV (64 kbit/s x 4), con vistas a reducir los costes de transmisión. La transcodificación de los 13 bit/s de la codificación de la voz GSM a los 64 kbit/s de la codificación de la ley A de la red cableada sólo tiene lugar en el codificada GSM- ley A también puede hacerse desde la estación base para utilizar los equipos de transmisión extendidos por toda la red.

El protocolo MTP recoge las funcionalidades RDSI.

#### 4.5 PILAS DE PROTOCOLO DEL GSM

La figura 4.7 presenta la arquitectura de los protocolos del GSM; la estación base y el controlador son pasarelas entre el móvil y el subsistema de red.

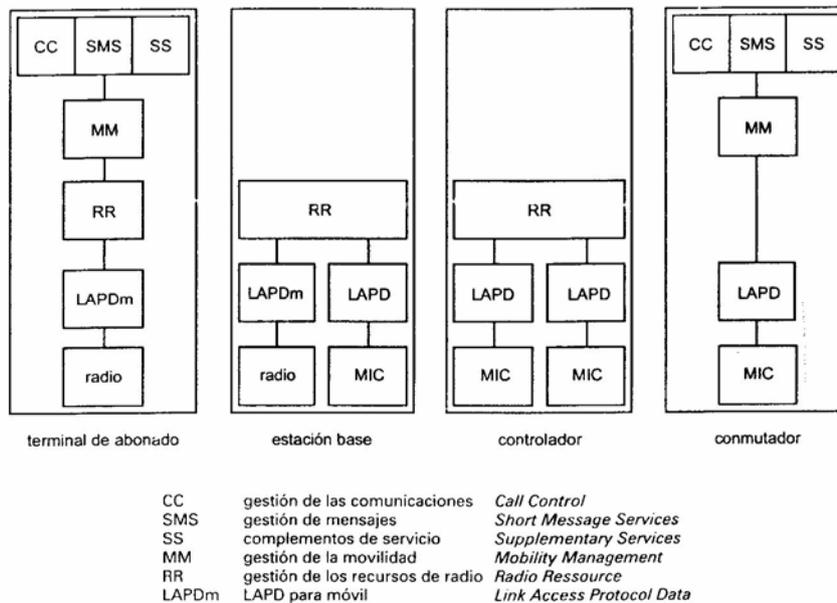
La aplicación CC (Call Control) controla el proceso de llamada (establecimiento, supervisión y liberación).

La aplicación SMS (Short Message Services).

La aplicación SS (Supplementary Services) controla los complementos de servicio.

La aplicación MM (Mobility Management) se encarga de la localización de un terminal.

La aplicación RR (Radio Resource management) gestiona el enlace de radio.



**Figura 4.7** Las pilas de protocolos en la estación móvil y en el subsistema de radio.

Las aplicaciones de servicios (CC, SMS, SS) se encuentran en los equipos terminales, y los equipos retransmisores (BSC, BTS) las transportan de forma transparente.

La aplicación de los recursos de radio, RR, afecta a la estación móvil y al subsistema de radio, siendo el controlador de la estación base el que controla la asignación de frecuencias de radio en un clastro.

La interfaz A- bis está situada entre el BTS y el BSC, la capa física utiliza un enlace MIC a 2 Mbit / s y la capa N° 2, el LAPD.

La interfaz A entre el BSC y el subsistema de red utiliza el protocolo N° 7 del CCITT.

#### 4.6 CARACTERISTICAS DE RADIO DE LA NORMA GSM

Las principales características de la norma se muestran en la tabla 4.7.

**Tabla 4.7.**

Frecuencia de emisión del terminal hacia la estación base	890-915 MHz
Frecuencia de emisión de la estación base hacia el terminal	935-960 MHz
Banda de frecuencias disponible	25+25 MHz
Modo de acceso	AMRT/AMRF
Separación entre canales de radio	200 kHz
Separación del dúplex	45 MHz
Número de canales de radio por sentido	124
Número de canales de voz a velocidad total	8
Tipo de transmisión	Digital
Velocidad bruta de un canal de radio	270 kbit/s
Velocidad bruta de un canal de voz a velocidad total	22,8 kbit/s
Velocidad de un códec a velocidad total	13 kbit/s
Tipo de codificación	RPE-LTP
Tipo de modulación	GMSK
Potencia máxima de una estación móvil	8 W
Potencia máxima de un terminal móvil	2 W
Radio máximo de una célula	30 km
Radio mínimo de una célula	200 m
Velocidad máxima de transmisión de datos	9.600 bit/s
Transferencia automática de célula	sí
Itinerancia	sí
Tarjeta de identidad de abonado	sí
Autenticación	sí
Cifrado de la interfaz de radio	sí
Control de la potencia de emisión	sí

## **4.7. GESTIÓN DE LOS RECURSOS DE RADIO**

Los protocolos de la capa n.º 3 controlan los enlaces entre los terminales y la infraestructura. Cuando se enciende un terminal, explora los canales de radio a la búsqueda del canal lógico de sincronización. Una vez sincronizado, entra en el modo en espera y queda preparado para recibir un mensaje sobre el canal de búsqueda o para emitir una solicitud de acceso a la red sobre un canal de acceso aleatorio. En este último caso, se le asigna un canal específico a través del canal de autorización de acceso.

### **4.7.1. Transferencia intercelular**

Se trata de una función crítica en el sistema GSM. Antes de proceder a una transferencia intercelular, el controlador de la estación base analiza la información relativa al tráfico en la células, al estado de los enlaces de radio, a la calidad de los enlaces (tasa de errores), a la potencia de la señal recibida y al avance temporal. A continuación, decide, bien la transferencia celular del móvil o bien la transferencia intercelular, es decir, la selección de otro canal lógico para el móvil. Las medidas de calidad del enlace de radio se efectúan tanto por la estación base como por el terminal. El terminal mide la calidad de su canal lógico y las características de las

células adyacentes a petición de la estación base (véase Ajuste del avance temporal un poco más adelante).

El controlador de la estación base, BSC, conoce los criterios de transferencia intercelular; estas reglas no están definidas en las recomendaciones para GSM. Cada fábrica propone sus criterios al operador de red.

#### **4.7.2. Control de la potencia de emisión**

La potencia de emisión de radio de la estación móvil y la de la estación base se regula constantemente (cada 60 ms), para limitar las interferencias y el ruido interno del sistema, mejorar el rendimiento espectral y también para aumentar la autonomía de los terminales al aprovechar de forma óptima su energía.

#### **4.7.3. Ajuste del avance temporal**

Los terminales presentes en una célula se encuentran a distancias diferentes de la antena de la estación base, por tanto, el tiempo de propagación de sus emisiones puede ser cualquiera, lo que impone un tiempo de guarda entre el final de la emisión del móvil  $M_n$  y el inicio de la siguiente  $M_{n+1}$ . Para reducir este periodo de guarda, la estación base lo mide permanentemente, y la estación de control de la estación base, BSC, lo ajusta en consecuencia para cada uno de los terminales, utilizando este dato como criterio para decidir una transferencia intercelular.

#### **4.7.4. Gestión de los canales de radio**

El controlador de la estación base genera los canales de radio, en el marco de la configuración de los canales físicos y lógicos elegido por el operador en la planificación para definir su estrategia de asignación de canales lógicos.

#### **4.7.5. Tipología de los usuarios**

Cuando el número de peticiones de acceso a la red por parte de los usuarios supera al de canales disponibles, la estación base selecciona y satisface a los usuarios en función de su tipo. Este tipo lo define el operador y lo almacena en la tarjeta SIM del abonado.

La tabla 4.8 muestra las categorías de usuarios definidos por la norma.

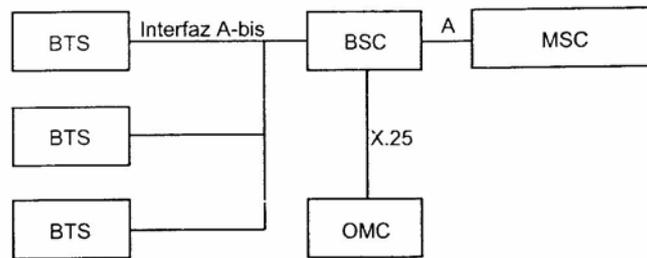
**Tabla 4.8.** Categorías de usuarios.

0-9	abonado normal
11	reservado para uso del operador de la red
12	personal de los servicios de seguridad
13	compañías de servicios públicos (agua, gas, electricidad, etc.)
14	servicios de urgencias
15	personal de operación

## **SUSBSISTEMA DE RADIO**

### **5.1. PRESENTACIÓN**

Un subsistema de radio es un conjunto constituido por una o varias estaciones base, BTS, y el controlador de estaciones base asociado. Este conjunto gestiona los canales de radio en un claustro de la red. La figura 5.1 presenta un subsistema de radio.



**Figura 5.1.** Subsistema de radio GSM.

La estación base (BTS) gestiona la interfaz de radio entre la infraestructura GSM y las estaciones móviles. Un controlador de estación base (BSC) controla una o varias estaciones base según la arquitectura de la red, que depende aquí de las restricciones impuestas por relieve del terreno y la densidad de abonados que haya que comunicar. El controlador de estaciones base administra las frecuencias de radio utilizadas por sus diferentes estaciones BTS, así como las funciones de control y mantenimiento de las estaciones base que son gestionadas de forma remota a través de él. Asume de forma autónoma la transferencia intercelular de las estaciones móviles que circulan por su zona de cobertura. Un controlador de estaciones base posee tres interfaces filares normalizadas:

- A-bis: con estaciones base;
- A: con el subsistema de red;
- X.25: con el centro de control y mantenimiento.

### 5.1.1. Interfaz A-bis

La capa física viene por un enlace MIC a Mbit/s.

La capa de enlace de datos tiene el protocolo LAPD.

En una estación base, sobre la interfaz de radio, un canal vocal tiene una velocidad de 13 kbit/s, sin embargo, la velocidad de un canal de enlace es de 64 kbit/s. Para compensar esta diferencia de velocidades, la interfaz A-bis permite elegir entre dos opciones:

- multiplexar cuatro canales vocales en un canal MIC;
- transcodificar los canales vocales a 64 kbit/s.

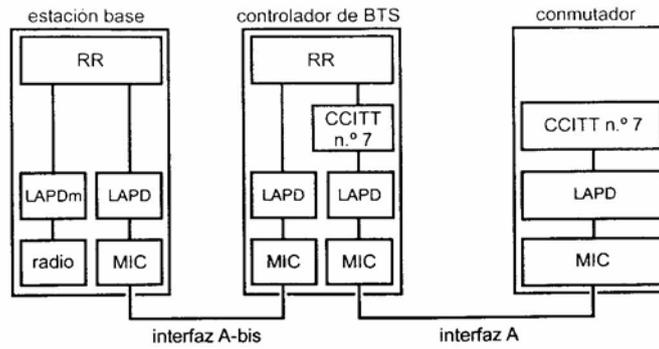
La primera solución tiene la ventaja de reducir el número de líneas de transmisión (y, por tanto, los costes asociados a ellas) entre las estaciones base y las estación controlada, en donde se concentra el tráfico. La segunda solución presenta la ventaja de que los equipos de transmisión se pueden extender por el sistema, aunque aquí la capacidad de transmisión no se emplea de manera óptima. Conviene señalar que estos equipos de multiplexado y transmisión son transparentes para los protocolos.

Los transcodificadores de voz adapta el formato de codificación de baja velocidad del GSM (13 kbit/s) utilizando en los canales de radio al de la red cableada (64 kbit/s). Generalmente se instala entre el BSC y el subsistema de red. Para aprovechar de manera óptima las posibilidades que ofrece la codificación de baja velocidad de voz del GSM, los transcodificadores se suelen ubicar en los centros de conmutación, aunque también pueden encontrarse en los centros BSC.

### 5.1.2. Interfaz A

La capa física viene definida por un enlace a 2 MIC Mbit/s.

La capa de enlace de datos tiene el protocolo CCITT número 7. La figura 5.2 presenta las capas lógicas de las interfaces A-bit y A.



**Figura 5.2.** Pilas de software en las interfaces A-bis y A.

La necesidad de cobertura de radio condiciona la configuración que tendrá el subsistema de radio, que deberá adaptarse a cualquier relieve, así como a las zonas rurales de baja densidad de tráfico y a las zonas urbanas de gran densidad. La tabla 5.1 presenta las familias de configuración existentes.

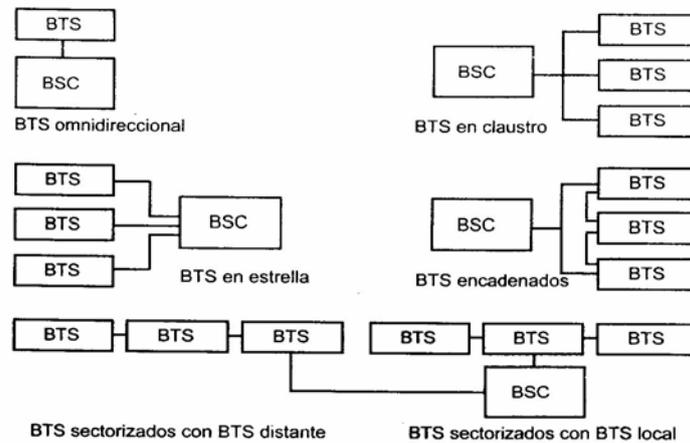
**Tabla 5.1.** Familias del subsistema de radio.

Tipo	Descripción
Omnidireccional	Una BTS y un BSC se encuentran juntos en el mismo lugar
Cluster (en estrella, en bucle o encadenadas)	Varias BTS están conectadas a un BSC
BTS sectorizadas o el BSC es distante	Tres BTS y un BSC se encuentran juntos en el mismo lugar

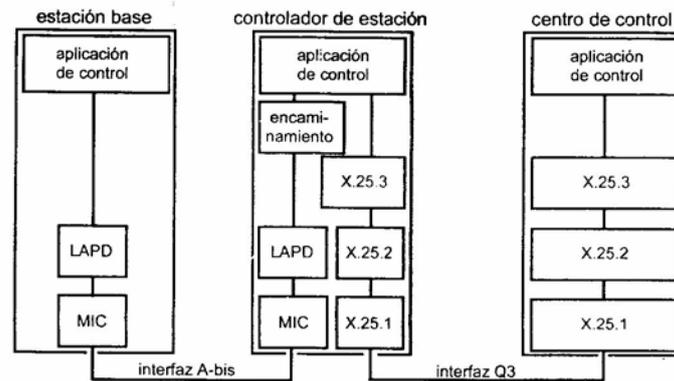
La configuración omnidireccional, en donde una BTS y un BSC se encuentran en el mismo lugar, se emplea en entornos rurales. Las otras configuraciones se utilizan en zonas urbanas.

### 5.1.3. Interfaz X.25

X.25 es la interfaz entre el BSC y el centro de control y mantenimiento. La figura 5.4 presenta las relaciones entre el subsistema de radio y el centro de control y mantenimiento de la red.



**Figura 5.3.** Tipología de las configuraciones del subsistema de radio.



**Figura 5.4.** Interfaz BSC con el centro de control y mantenimiento.

## 5.2. ESTACIÓN BASE

La estación base es el punto de entrada en la red de las estaciones móviles; en ella se ubican los equipos de radio de la infraestructura. La estación base se comunica con las estaciones móviles por la interfaz de radio (Um) y con el controlador de estación base por la interfaz A-bis.

Una estación base controla de una a ocho portadoras de radio. Una portadora de radio soporta ocho canales de radio a velocidad total. Para ello, en la estación se instala una antena que puede ser omnidireccional o sectorial (normalmente a 120°). En el caso de la cobertura sectorial, un único emplazamiento acoge varias estaciones base, las cuales están sincronizadas para aumentar la eficacia de las transferencias intercelulares.

Las funciones de una estación base son:

- la transmisión radioeléctrica según el formato GSM, que asocia las técnicas de salto de frecuencias y de diversidad de antenas;
- la generación de algoritmos de ecualización para compensar las múltiples trayectorias;
- la codificación/descodificación de los canales de radio;
- el cifrado de las comunicaciones;
- la gestión del protocolo de gestión de datos sobre el cual de radio (LAPDm);
- la medida de calidad y potencia de recepción existente en los canales de tráfico;
- la transmisión sobre el canal de señalización;
- la explotación y el mantenimiento de los equipos que componen la BTS.

Para cumplir estas funciones, la arquitectura funcional de una estación base es parecida a la que se presenta en la figura 5.5.

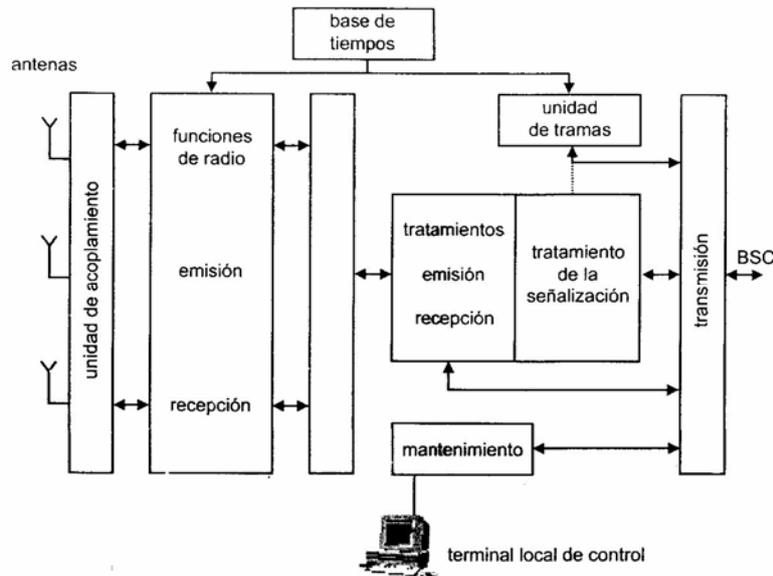
Los equipos que componen una estación base son:

- la base de tiempos;
- la unidad de mantenimiento;
- la unidad de salto de frecuencia;
- la unidad de radio;
- la unidad de trama;
- el equipo de acoplamiento.

### 5.2.1. Base de tiempos

La base de tiempos proporciona todas las señales de reloj y de sincronización necesarias para los otros elementos de la estación, para cumplir todas las referencias temporales definidas por la norma GSM para la sincronización:

- Cuarto de bit ( $0,92\mu\text{s}$ );
- Intervalo de tiempo ( $577\ \mu\text{s}$ );
- Trama AMRT ( $4,615\ \text{ms}$ );
- Multitrama;
- Supertrama;
- Hipertrama.



**Figura 5.5** Descripción de una estación base.

### 5.2.2 Unidad de mantenimiento

La unidad de mantenimiento lleva a cabo las siguientes misiones:

- La gestión de todos los protocolos internos de comunicación y captura de las alarmas procedentes de todos los equipos presentes en la BTS;
- El filtrado y la emisión hacia la BTS de las alarmas;
- La transferencia a los equipos de la estación de las instrucciones procedentes del controlador BTS;
- la transferencia y actualización de software y ficheros a las unidades;
- La gestión de la interfaz hombre/máquina para la gestión local de la estación.

### 5.2.3. Unidad de salto de frecuencia

La unidad de salto de frecuencia asegura la comunicación siguiendo la regla de salto de frecuencia entre las unidades de trama (la parte de banda base de la BTS) y las unidades de portadora (la parte de radiofrecuencia de la estación), para llevar a cabo el salto de frecuencia a cada intervalo de tiempo.

### 5.2.4. Unidad de test de radio

Esta unidad sirve para detectar y localizar fallos en la cadena de transmisión/recepción. Permite hacer bucles en los canales de radio para este fin.

### **5.2.5. Unidad de trama**

La unidad de trama posee todas las funcionalidades necesarias para el tratamiento digital de los datos en banda base para 8 canales a velocidad total o para 16 canales a velocidad mitad. Controla los protocolos de la capa n. °2 LAPDm y LAPD hacia la estación móvil y hacia el controlador de estación base. La unidad de trama controla los canales de radio, las potencias de tratamiento que realiza consiste en adaptar la velocidad de datos y voz, codificar los canales, entrelazar, cifrar y conformar las tramas. El tratamiento para la recepción consiste en efectuar las operaciones inversas a las de emisión, añadiendo además la desmodulación, la ecualización y el control de calidad.

### **5.2.6. Unidad de radio**

La unidad de radio se compone de un emisor y un receptor de radio. El emisor se encarga de la modulación, la transmisión de radiofrecuencia y la amplificación de potencia. El receptor realiza la transposición de frecuencia inversa, la conversión analógico-digital y el cálculo de la intensidad de la señal recibida.

### **5.2.7. Equipo de acoplamiento**

El equipo de acoplamiento incluye multiacopladores, para diversificar la recepción (dos antenas están acopladas), y filtros de emisión por cavidad, para minimizar las pérdidas de potencia. La resonancia de los filtros de emisión se gestiona desde el centro de control de red; esta opción de control permite seleccionar las frecuencias portadoras utilizadas por una estación base desde el OMC.

### **5.2.8. Unidad de tráfico y de extensión**

Esta unidad se instala en función de la densidad del tráfico que circula por una célula. Las unidades de extensión son unidades de tratamiento tanto en banda base o unidad de trama, como en la parte de radiofrecuencia (unidad de portadora y unidad de acoplamiento).

### **5.2.9. Equipo de transmisión**

El equipo de transmisión controla la interfaz con el BSC. Permite multiplexar hasta 80 canales de transmisión de radio a velocidad total (13 kbit/s) sobre un enlace MIC a 2 Mbit/s. En zona urbana, una estación base controla tres células. Este enlace puede controlar ocho portadoras de radio por célula, es decir un total de 24 portadoras o 192 (24x8) canales de comunicación de radio. Una BTS es un equipo que ofrece una gran flexibilidad de explotación; todo el software puede cargarse de forma remota, y la normalización de las interfaces permite que el operador configure su red a partir de equipos suministrados por diferentes fabricantes.

Una estación base estándar posee una alimentación de red y una batería de seguridad, que alimenta de 1 a 4 emisores-receptores. El desarrollo para las estaciones base de componentes específicos ASIC con un elevado índice de integración ha permitido reducir su volumen, de forma que una estación base puede instalarse en locales de pequeñas dimensiones.

## **5.3. CONTROLADOR DE ESTACIONES BASE**

Se trata del equipo de control del subsistema de radio. Su principal función es la gestión de las estaciones base, BTS. El controlador puede estar localizado en el mismo lugar que una estación base, en el centro de conmutación MSC o en un emplazamiento independiente. En este último caso, desempeña también la función de concentrador del tráfico de las estaciones base

optimizando la red de transmisión. La figura 5.3 presenta las diferentes configuraciones posibles BTS-BSC.

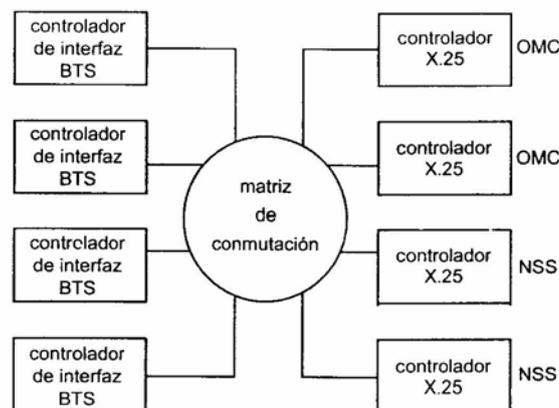
Las funciones de un controlador de estación base son:

- la gestión de los recursos de radio (canales de tráfico, canales de señalización, etc.);
- la gestión de llamadas (establecimiento, supervisión, liberación de las comunicaciones);
- la gestión de las transferencias intercelulares en su claustro (hand-over);
- la gestión de la potencia de la emisiones de radio;
- la gestión de explotación, mantenimiento, diálogo con el sistema de control;
- la gestión de los procesos de seguridad y de reconfiguración;
- la gestión de las alarmas y la supervisión de los equipos periféricos;
- la salvaguarda tanto del software u como de los parámetros de las estaciones base.

A fin garantizar una gran disponibilidad y para aumentar su fiabilidad, los órganos más importantes están duplicados.

### 5.3.1. Arquitectura física

Un controlador de estaciones en torno a una matriz de conmutación, que permite el encaminamiento de una entrada hacia todas las salidas. La figura 5.6 presenta la arquitectura física de un controlador de estaciones base.



**Figura 5.6.** Estructura de un controlador de estaciones base

Un controlador es el punto donde se distribuyen las comunicaciones. Por esta razón, la matriz de conmutación se presenta en el centro: todas las entradas pasan a través de ella. Existen tres tipos de tarjetas controladoras que gestionan las diferentes interfaces: hacia las estaciones base BTS, hacia el centro de control y mantenimiento OMC y hacia el subsistema de red NSS.

### 5.3.2. Matriz de conmutación

La matriz de conmutación está constituida por 64 accesos, cada uno de los cuales puede conmutar un intervalo de tiempo MIC hacia un intervalo de tiempo MIC de otro acceso. La matriz sirve para conmutar canales a 64 kbit/s, pero también para el intercambio de datos de trabajo entre las tarjetas del BSC.

Es posible unir varios controladores por un bus a un acceso de la matriz; en este caso, los canales disponibles del enlace MIC se reparten entre los controladores conectados al bus.

### 5.3.3. Controlador de interfaz X.25

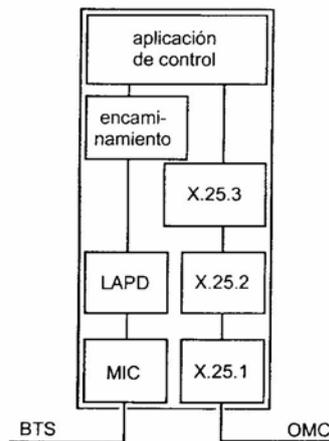
El controlador de interfaz X.25 gestiona una terminación hacia un centro de control y mantenimiento, posee una aplicación de mantenimiento y una memoria protegida que contiene el software del conjunto del subsistema de radio. Esta tarjeta gestiona también los recursos de radio. La figura 5.7 presenta la pila de software del controlador de interfaz.

### 5.3.4. Controlador de interfaz hacia una BTS

Un controlador de interfaz hacia una BTS gestiona, por un lado, el protocolo LAPD para la capa de enlace de datos; por otro, una portadora, de radio (8 canales físicos) ya que una portadora está asignada a una BTS, y, por último, la señalización hacia la BTS y el tratamiento de las medidas de calidad efectuadas sobre los canales de tráfico.

### 5.3.5. Controlador de interfaz hacia el NSS

Garantiza la terminación de enlace MIC a 2 Mbit/s hacia un conmutador de red y controla los protocolos CCITT N° 7 y HDLC para la capa física.

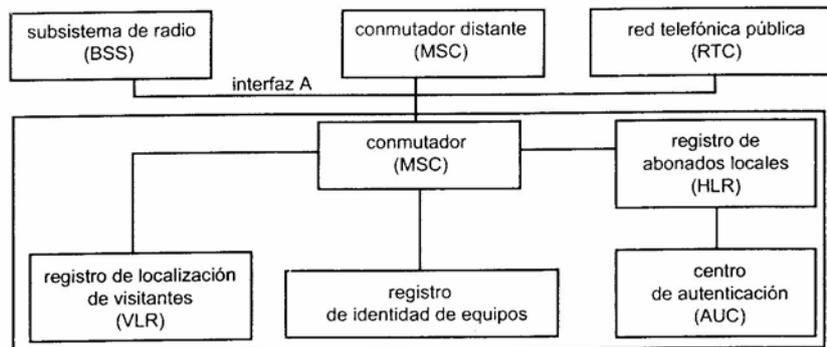


**Figura 5.7.** Arquitectura lógica del controlador de interfaz X.25.

## SUBSISTEMA DE RED

### 6.1. PRESENTACIÓN

Un subsistema de red es el nexo entre la parte de radio GSM y la red telefónica conmutada pública (RTCP) o la red RDSI. Un subsistema de red constituye un sistema complejo. La figura 6.1 presenta los equipos integrados en un subsistema de red y sus conexiones.



**Figura 6.1.** Descripción de un subsistema de red GSM.

## 6.2. CENTRO DE CONMUTACIÓN DE MÓVILES

El centro de conmutación de móviles (Mobile Switching Centre, MSC) es elemento más importante del subsistema. Se encarga de suministrar las funciones de conmutación que conectan a los abonados móviles entre sí o a éstos con las redes fijas. Se encuentra interconectado y proporciona las interfaces con la red telefónica pública conmutada, la RDSI y las redes públicas de datos de conmutación de paquetes o de circuitos.

El MSC posee tres tipos de bases de datos, donde localiza y almacena la información para tratar las llamadas y responder a las peticiones de servicios de los abonados:

- el registro de abonados locales (Home Location Register, HLR);
- el registro de localización de visitantes (Visitor Location Register, VLR);
- el centro de autenticación (Authentication Centre, AUC).

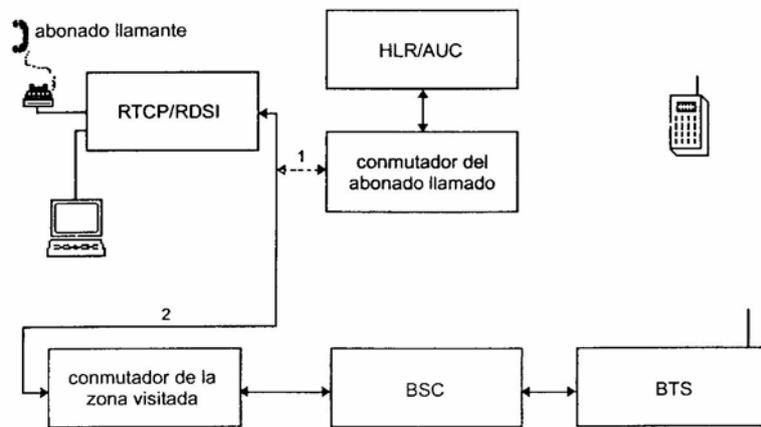
Cada uno de los conmutadores MSC de la red contribuye a la actualización de estas bases de datos con la última información disponible, de ahí el frecuente diálogo entre conmutadores.

Un conmutador proporciona a los abonados tres familias de servicios:

- servicios portadores:
  - banda de audio de 3,1 kHz;
  - transmisión de datos síncronos;
  - servicio de ensamblado/desensamblado de paquetes y la conmutación de los modos vocal y datos;
- teleservicios:
  - telefonía;
  - llamadas de emergencia;
  - fax;
- servicios suplementarios:
  - reenvío de llamadas;
  - datos de tarificación;
  - restricción de llamadas.

### 6.3. REGISTRO DE ABONADOS LOCALES

El registro de abonados locales (HLR) almacena información relativa a ciertos abonados móviles. Para un abonado, la información de su HLR es su referencia para la red. Cada abonado móvil posee un registro de datos estáticos que describe el tipo de abono y los servicios contratados, así como un registro de datos dinámico que describe en qué zona se encuentra, el estado de su Terminal, etc. El HLR es una base de datos protegida, donde los datos están cifrados y únicamente un operador autorizado puede manipularlos, además está situado en un local de acceso restringido. Las llamadas entrantes destinadas a un abonado móvil pueden ser procesadas gracias a la información de localización del abonado solicitado: de esta forma, la red conoce su última posición, su estado y, si está libre, interroga al equipo más próximo para verificar la validez de los datos de localización. El conmutador iniciador de la llamada, conocedor de la posición del móvil, dialoga con el equipo más cercano al abonado para establecer la comunicación.



**Figura 6.2.** Llamada entrante para una estación móvil.

La red telefónica interroga en primer lugar al registro de abonados locales del abonado, ya que de éste sólo conoce el número que se acaba de solicitar, representado por el camino 1 en la figura 6.2. Después, la red telefónica se dirige al registro de localización de visitantes de la zona donde se encuentra el abonado (camino 2). Por último, La llamada se encamina hasta el abonado a través de un BSC y la BTS de la célula en la que está situado el móvil. La llamada puede ser emitida desde un aparato telefónico o un Terminal de datos de la red RDSI.

### 6.4. REGISTRO DE LOCALIZACIÓN DE VISITANTES

El registro de localización de visitantes guarda los datos relativos a un abonado móvil cuando este último entra en la zona de cobertura del subsistema de red. El VLR es una base de datos dinámica. Dialoga con el HLR del abonado móvil para conocer la información pertinente, necesaria para el servicio que debe dar al abonado. Cuando el abonado abandona la zona de cobertura del MSC, su información se transmite a otra VLR, estos datos acompañan al abonado por sus desplazamientos en la red. La información relativa a un abonado permite tratar las llamadas entrantes y salientes que afectan a ese abonado cuando se encuentra presente en la zona de cobertura del MSC.

### 6.5. CENTRO DE AUTENTICACIÓN

La misión del centro de autenticación es controlar la identidad de los usuarios de la red y la de las estaciones móviles, es decir, proteger la red contra posibles intrusos. El centro de

autenticación, o AUC (Authentication Centre), almacena toda la información necesaria para proteger las comunicaciones de los abonados móviles. Dos de las particularidades de la norma GSM son el cifrado de las transmisiones que viajan por el canal de radio y la autenticación de los usuarios de la red. Para ello, las claves del cifrado se encuentran tanteeen la estación móvil como ene. Centro de autenticación. La base de datos que las contiene obviamente está protegida contra cualquier acceso no autorizado. Igualmente, se toman las medidas de protección necesarias al dar de alta a un abonado cuando el operador proporciona la clave secreta personal  $K_p$ , que se cifra mediante otro algoritmo y después, sobre el soporte de almacenamiento masivote la base de datos, se almacena de forma cifrada para protegerla contra lectura.

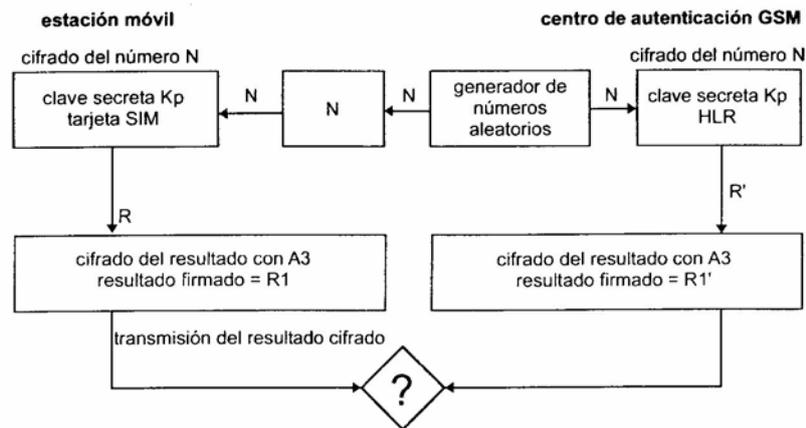
La parte de radio del enlace entre el Terminal y la infraestructura fija puede ser objeto de tentativas de llamadas fraudulentas por parte de los usuarios. Para afrontar esa peligrosa eventualidad, tres son los niveles de seguridad que se emplean:

- los módulos de identidad de abonado, SIM, son autenticados por el sistema para impedir la utilización por usuarios no registrados;
- las comunicaciones en la parte de radio del enlace se cifran para evitar que se puedan escuchar las conversaciones (de voz o datos);
- se protege la identidad del abonado.

La seguridad se obtiene por medio de algoritmo de cifrado que se aplica tanto a los terminales como ala infraestructura. Las administraciones de la CEPT han definido un conjunto de algoritmos para su uso, aunque pueden definirse otros algoritmos para otros tipos de operadores. Es el propio operador el que activa o desactiva los mecanismos de cifrado del enlace según sus necesidades. Los datos de autenticación y las claves de cifrado se almacenan en el AUC.

Las opciones que ofrece el comité de normalización que cada operador elija su propio algoritmo de autenticación independientemente de otros operadores, lo que ofrece la posibilidad a estos últimos de autenticar a un usuario visitante sin conocer el algoritmo de su red de origen.

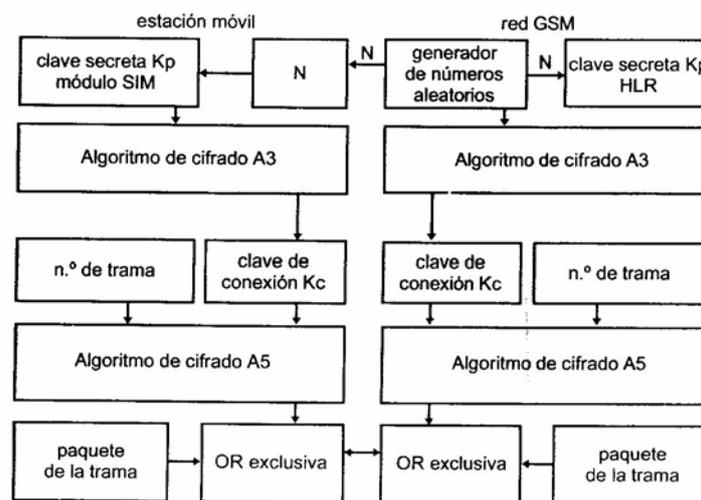
La autenticación de un abonado está garantizada al pedir a su Terminal que suministre el resultado de un cálculo efectuado sobre un número aleatorio transmitido por el sistema, con ayuda de una clave personal  $K_p$  grabada en su tarjeta de abonado (Subscriber Identity Module, SIM), después, el sistema compara el resultado emitido por el Terminal con el valor esperado. Este cálculo se basa en una clave secreta propia de cada tarjeta SIM y se efectúa siguiendo un algoritmo. La clave secreta y el algoritmo se almacena con una protección en la tarjeta SIM y en el HLR. El cifrado del paquete de radio se realiza mediante un segundo algoritmo aplicado a otra clave ( $K_c$ ) elegida en el momento de la conexión del abonado a la red y de un número que cambiar para cada paquete. La clave  $K_c$  se elige a nivel de Terminal y de HLR con ayuda de un tercer algoritmo. La figura 6.3 presenta el mecanismo de autenticación de un abonado por la red.



**Figura 6.3.** Autenticación de un abonado.

El número personal de un abonado, su IMSI (Internacional Mobile Subscriber Identity), sólo circula al entrar el Terminal en la red. Más tarde, la identidad del abonado se protege utilizando un sustituto, una identidad temporal, el TMSI (Temporary Mobile Subscriber Identity), asignado por la red cuando el móvil entra en una zona determinada.

Un Terminal se presenta a la red declarando su IMSI en la zona donde se encuentra. El IMSI contiene un número personal de abonado, el nombre de la red y el código del país donde está abonado. La información de localización se registra en el VLR y en el HLR de incorporación del abonado. La figura 6.4 presenta el mecanismo de cifrado de las tramas que circulan entre una estación móvil y una estación base.



**Figura 6.4.** Mecanismo de cifrado de las tramas.

Durante la conexión de una estación, un generador de números aleatorios le proporciona el número N, el cual está cifrado con la clave secreta personal Kp del abonado. El resultado obtenido es igualmente cifrado mediante un algoritmo A3 para proteger la clave Kp. Este nuevo resultado se transmite a la red GSM, que compara el resultado recibido en el calculado por está. Cuando la comparación es satisfactoria, la red solicita al Terminal que proteja sus tramas con una nueva clave Kc. El resultado de la codificación de una trama con la clave Kc es igualmente

cifrado con un algoritmo A5. El producto de este cifrado se transmite sobre la red. Este mecanismo tan complejo garantiza que ninguna información circule por la red en estado puro. Si además añadimos que cada trama se emite a una frecuencia diferente, se puede decir que las protecciones utilizadas son numerosas y sofisticadas.

## **6.6. REGISTRO DE IDENTIDAD DE EQUIPOS**

Las especificaciones GSM (Rec. 02.16 y 02.17) contienen funcionalidades destinadas a disuadir los robos de terminales y a proteger la red contra la utilización de terminales no autorizados. Estas especificaciones definen la identidad internacional de los abonados y la de los terminales GSM.

Cada estación móvil posee un número personal de identificación, es decir, su identidad internacional de equipo de estación móvil (International Mobile Equipment Identity, IMEI), sin relación con la identidad del abonado. Esta identidad viene grabada de fábrica. Sirve para demostrar que el aparato es conforme a las normas GSM. La red controla este número en cada llamada de Terminal o durante la actualización de su localización. Si no figura en la lista de equipos autorizados conocidos por la red, se rechaza el acceso. Una base de datos localizada en el conmutador, llamada registro de identidad de equipos EIR (Equipment Identity Register), contiene un listado con la identidad de los terminales certificados y los terminales que han sido sustraídos, de forma que se pueden verificar las IMEI.

Los conmutadores lanzan consultas a esta base de datos para comprobar la validez de la IMEI de un nuevo aparato. El registro de identidad de equipos, EIR, responde a este tipo de petición mediante una información en forma de color:

- blanco para un equipo autorizado;
- gris para un equipo en observación;
- negro para un equipo prohibido.

Cuando una IMEI aparece en varias listas, el indicado se toma en orden de prioridad decreciente: negro, gris y blanco. Los contadores de tráfico están asociados a las listas e indican el número de accesos y de consultas. Los EIR están ubicados en un reducido número de lugares debido a las dificultades de gestión de las listas de IMEI.

### **Bibliografía:**

“Red GSM” McGraw Hill.