

## **CAPÍTULO I: “ASPECTOS GENERALES DEL SISTEMA DE TELEFONÍA MÓVIL GSM/GPRS DE SEGUNDA GENERACIÓN”**

### **OBJETIVOS DEL CAPÍTULO I**

- Describir los componentes que conforman la arquitectura de la red GSM/GPRS.
- Exponer la tecnología, los protocolos y la seguridad utilizada por el sistema GSM, GPRS y EDGE.
- Especificar los tipos de servicios y la calidad con que son proporcionados por el sistema GSM/GPRS.

### **INTRODUCCIÓN AL CAPÍTULO I**

En el primer capítulo se define el marco teórico referente al sistema de telefonía móvil de segunda generación GSM, el cual es el punto de partida de la migración hacia el nuevo sistema de telefonía móvil de tercera generación UMTS. Este capítulo desarrolla temas como: historia, arquitectura, tecnologías y técnicas de acceso a radio, protocolos, servicios, calidad de los servicios y seguridad. GSM difiere de sus predecesores, los sistemas de primera generación, en que tanto la señalización como los códigos de voz son digitales. Facilitando así: la seguridad de la conversación por medio de la encriptación, la eficiencia del espectro radioeléctrico y la introducción de los servicios de datos para telefonía móvil a través de los servicios de mensajes de texto. También se incluyen los sistemas GPRS y EDGE como actualizaciones al sistema GSM, para incrementar la velocidad de transmisión de datos por medio de la conmutación de paquetes.

---

## **1.1 HISTORIA DE GSM**

En 1982, un administrador público de servicios de telefonía móvil de los países nórdicos (Nordic PTT) envió una propuesta al CEPT Conférence Européenne des Administrations des Postes et des Télécommunications (Conferencia Europea de Administraciones de Correos y Telecomunicaciones) para la implementación de un servicio común de telefonía móvil europeo. El CEPT decidió entonces formar el GSM Groupe Speciale Mobile (Grupo Especial de Movilidad) con el fin de desarrollar un estándar europeo para las comunicaciones celulares. En la conferencia de GSM en 1987 se preparó el MoU Memorandum of Understanding (Memorándum de Acuerdo) y 12 países lo firmaron, comprometiéndose a respetar las normativas y prometiendo tener el mismo sistema basado en dicho estándar. En 1989, se fundó el ETSI European Telecommunication Standards Institute (Instituto Europeo de Estándares de Telecomunicaciones) y el grupo GSM se convirtió en un comité técnico del ETSI, dicho comité fue fundado para desarrollar un conjunto de recomendaciones técnicas que serían presentadas al ETSI para su aprobación, dichas propuestas fueron producidas por el SMG Special Mobile Group (Grupo Especial para Movilidad) que trabajaba en grupos llamados STC Sub Technical Committees (Subcomités Técnicos). Después de la rápida proliferación de la red GSM, el acrónimo GSM se ha reinterpretado por «Global System for Mobile Communication» (Sistema Global para las Comunicaciones Móviles). Finalmente en Julio del 2000, ETSI anunció el cierre del SMG, por lo cual, el trabajo remanente y futuro sobre GSM fue transferido a grupos dentro y fuera de ETSI. Siendo la mayor parte de este trabajo delegado a 3GPP Third Generation Partnership Project (Proyecto Asociado de Tercera Generación).

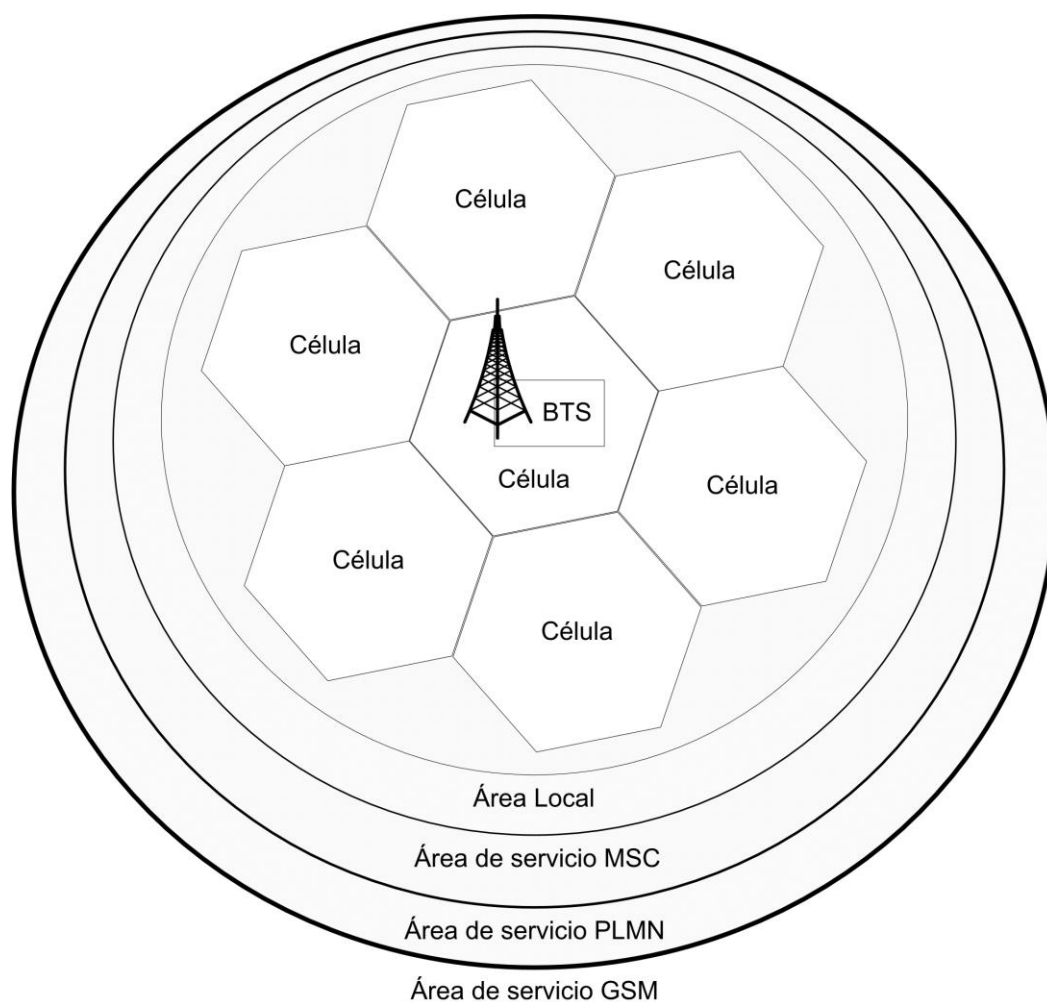
## **1.2 ORGANIZACIÓN DE LA RED GSM**

El estándar ETS300522, divide la red del sistema GSM en las siguientes áreas:

- Área de servicio GSM.
-

- 
- Área de servicio de la PLMN.
  - Área de servicio de la MSC.
  - Área local.
  - Célula.

Figura 1.1 Áreas de servicio de una red GSM.



El Área de servicio GSM es el área total combinada de todos los países miembros en donde un teléfono móvil puede ser atendido. El Área de servicio de la PLMN Public Land Mobile Network (Red Móvil Pública Terrestre) es el área formada por

---

todos los operadores de telefonía móvil de un país. Los enlaces entre la red GSM/PLMN y otra PSTN Public Switched Telephone Network (Red Telefónica Pública Conmutada) o PLMN consisten en el intercambio de tráfico a nivel internacional o nacional. Dentro del área de servicio del MSC Mobile Switching Centre (Centro de Conmutación Móvil) en la jurisdicción de una PLMN pueden existir varias áreas de servicio MSC, dependiendo de la extensión del territorio del país, pero un MSC solamente atenderá las llamadas de su jurisdicción. Posteriormente se encuentra el LA Local Area (Área Local) que es una parte del área de servicio MSC en la que una MS Mobile Station (Estación Móvil) puede moverse libremente sin actualizar la información de localización a la MSC. Una LA puede ser identificada por el sistema utilizando la LAI Location Area Identity (Identidad de Área Local). Una LA se divide en muchas células, una célula es identificada por el servicio de una BTS Base Station Transceiver (Estación Base Transceptora). La MS distingue entre células utilizando el BSIC Base Station Identification Code (Código de Identificación de Estación Base).

### **1.3 ARQUITECTURA DE LA RED GSM**

El sistema GSM necesita una serie de equipos y funciones para proporcionar un servicio de telefonía móvil, esencialmente un sistema GSM se encuentra conformado por los teléfonos celulares de los suscriptores, llamados MS, el BSS Base Station System (Sistema de Estación Base) y el MSC.

La arquitectura y las interfaces presentadas en las secciones 1.3.1 a la 1.3.4, corresponden al sistema GSM en el dominio de la conmutación por circuitos<sup>7</sup>.

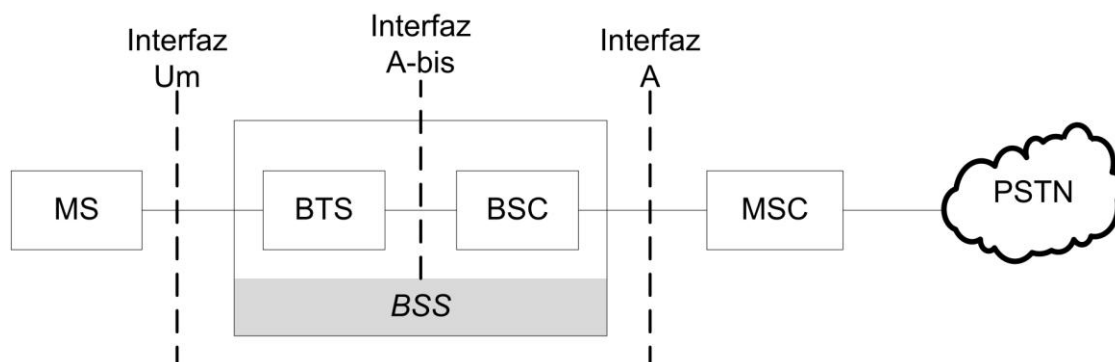
Se definen tres interfaces principales en la red GSM: La interfaz «A» entre el MSC y la BSC Base Station Controller (Estación Base Controladora), la interfaz «A-bis» entre la BSC y la BTS y la interfaz «Um» entre la BTS y la MS.

---

<sup>7</sup> La conmutación por circuitos y por paquetes se expone en la sección 1.4.

---

Figura 1.2 Elementos básicos de una Red GSM.



### 1.3.1 Estación Móvil

La estación móvil (MS) consiste en el equipo físico utilizado por un suscriptor para tener acceso a los servicios de una red GSM. En base al ETS 300 522, la MS contiene el ME Mobile Equipment (Equipo Móvil) y el SIM Subscriber Identity Module (Modulo de Identidad del Suscriptor). El ME incluye el MT Mobile Terminal (Terminal del Móvil) que dependiendo de la aplicación y el servicio puede soportar varias combinaciones de TA Terminal Adaptors (Adaptadores del Terminal) y grupos funcionales<sup>8</sup> de TE Terminal Equipment (Terminal del Equipo).

La configuración de acceso del TE basada en el ETS300551 se muestra en la Figura 1.3, los grupos funcionales TE1, TE2 y TA desempeñan conceptualmente la misma función que los grupos de la ISDN Integrated Services Digital Network (Red Digital de Servicios Integrados).

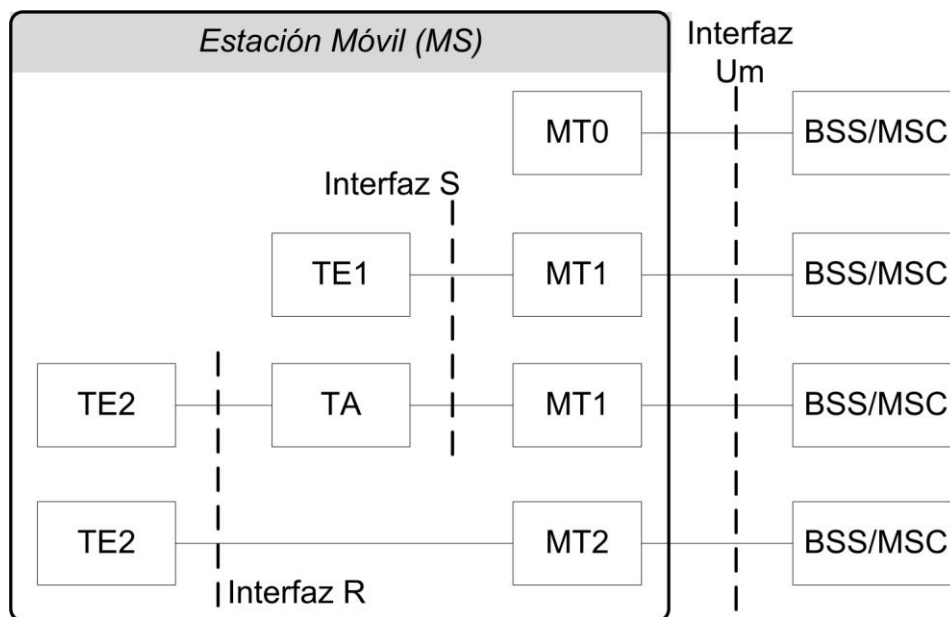
También se observa que hay tres tipos de MT. El MT0 incluye funciones pertenecientes a los suscriptores móviles y no tiene ninguna interfaz terminal. Posteriormente el MT1 incluye funciones pertenecientes a los suscriptores móviles y cuenta con una interfaz que cumple con el subconjunto de

<sup>8</sup> Son conjuntos de funciones que pueden ser necesarios en la configuración de acceso a la red. Para un acuerdo particular de acceso, las funciones específicas de un grupo funcional pueden o no estar presentes. Las funciones específicas de un grupo funcional pueden realizarse en una o más piezas del equipo.

---

recomendaciones GSM de la interfaz usuario-red de ISDN. El MT2 incluye funciones pertenecientes a los suscriptores móviles y dispone de una interfaz que cumple con el subconjunto de recomendaciones GSM y de la interfaz del CCITT International Consultative Committee of Telegraph and Telephone (Comité Consultivo Internacional de Telegrafía y Telefonía) serie de recomendaciones X y V. Las funciones que cumple el MT se definen en la sección 3 del ETS300551.

Figura 1.3 Referencia de la configuración de acceso a la PLMN GSM



Las cualidades de la MS definidas por el ETS300504, son las siguientes:

- Configuración de acceso de servicio de la estación móvil: debe ajustarse a las exigencias del cliente y dependerá de la combinación de servicios que se utilicen. La configuración dependerá de la aplicación y del fabricante, puede comprender una sola unidad móvil o terminales de equipos adicionales y/o adaptadores de terminales.
-

- 
- Capacidad de acceso de la estación móvil: depende de la estructura de canales y la banda de frecuencias que llevan la información de la estación móvil.
  - Modo de uso.

El ETS300504 define los tipos de estaciones móviles:

- Estación portátil: es una MS donde la antena está agregada directamente a los equipos que contienen transductores acústicos<sup>9</sup> para el habla.
- Estación vehicular: es una MS donde la antena se encuentra físicamente montada en la parte externa de un vehículo (camiones, autobuses, trenes y buques).

Una característica de una MS se define como: una pieza de equipo o una función que está directamente relacionada con el interworking<sup>10</sup> de la MS.

El ETS300505 define tres categorías de características:

- Característica Básica: está directamente relacionada con el funcionamiento de servicios de telecomunicaciones básicos.
- Característica Suplementaria: está directamente relacionada con el funcionamiento de servicios suplementarios.
- Característica Adicional: es una característica que no es ni una básica ni una suplementaria.

---

<sup>9</sup> Término utilizado en los estándares para definir el conjunto de micrófono y altavoz, ya que este dispositivo transforma las vibraciones producidas por las cuerdas vocales en una señal de tipo eléctrica.

<sup>10</sup> Es la interoperatividad (trabajo en conjunto) entre dos elementos de una red de telecomunicaciones, lo que incluye su respectiva comunicación. Esto puede o no, implicar diferentes protocolos de señalización o elementos de apoyo.

---

Las características de la MS son calificadas como obligatorias u opcionales. Las características obligatorias siempre tienen que ser aplicadas al tipo de MS respectivo. Las características opcionales se aplican en base a la discreción de los fabricantes. El método de aplicación de todas las características de una MS debe hacerse en conformidad con las especificaciones GSM, garantizando el funcionamiento de la MS con la red.

En las tablas 1, 2 y 3 del ETS300505 se detallan las características básicas, suplementarias y adicionales, respectivamente.

#### ▪ **IMEI**

La IMEI International Mobile Station Equipment Identities (Identidad Internacional del Equipo Móvil) en base al ETS300508 se define como un número exclusivo asignado a cada equipo MS del sistema GSM y será aplicado incondicionalmente por el fabricante de la MS.

El objetivo principal del IMEI es facilitar la toma de medidas contra el uso de equipos robados o contra equipos cuyo uso en el sistema GSM no puede ser tolerado por razones técnicas.

El ETS300508 y ETS300523 definen la estructura, procedimientos y algoritmos de cálculo para el IMEI.

#### ▪ **SIM**

El SIM se define en el ETS300509 como un módulo removible y contiene la IMSI Identity Móvil Subscriber International (Identidad Internacional del Suscriptor Móvil) que identifica inequívocamente a un suscriptor. El SIM contiene un PIN Personal Identification Number (Número de Identificación Personal) para proporcionar protección contra uso no autorizado.

---



---

El SIM contendrá información de los elementos de la red GSM, servicios GSM e información relacionada a la PLMN. Además, proporciona almacenamiento para la información relacionada al suscriptor, de los siguientes tres tipos:

- Datos fijos durante la fase administrativa.
- Datos temporales de red.
- Datos relacionados con el servicio.

### 1.3.2 Sistema de Estación Base

El BSS es el subsistema de equipos de BS Base Station (Estación Base) (transceptores<sup>11</sup> y controladores) que es visto por el MSC mediante la «interfaz A» como la entidad responsable para comunicarse con la MS en una zona determinada mediante la interfaz «Um». El equipo de radio de un BSS tendrá a su cargo una o más células.

El BSS es definido en la «serie 08» de especificaciones técnicas de GSM.

En la Figura 1.4, se muestran las subdivisiones del BSS, incluyendo la interfaz A-bis para su operación interna y la interfaz A para comunicarse con el MSC; en base a la sección 3 del estándar ETS300593.

#### ▪ Controlador de Estación Base

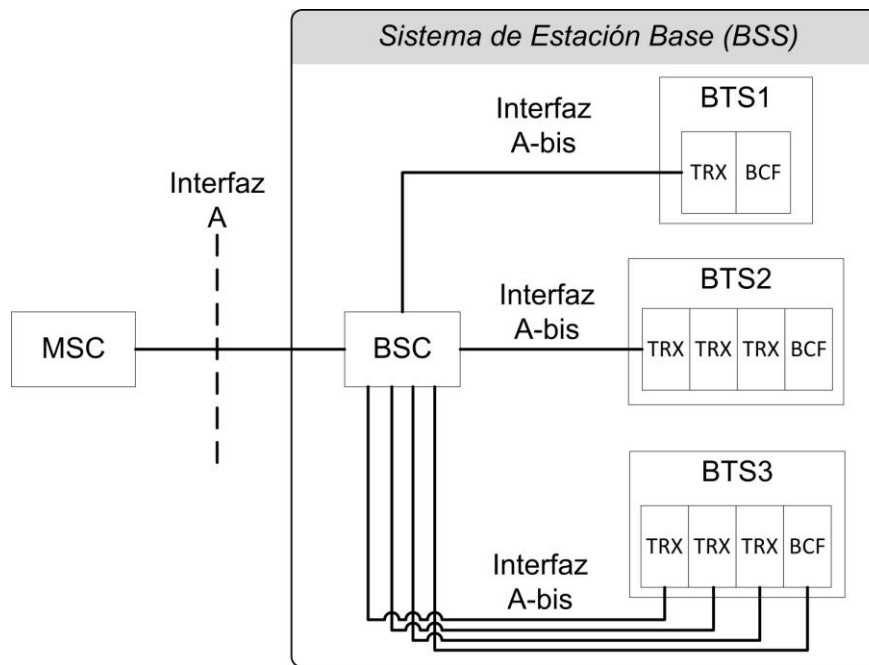
Se define en el ETS 300 593 como un componente de red en la PLMN, con las funciones de control y gestión de los recursos de radio de una o más BTS. La BSC controla la configuración de los canales de radio, los saltos de frecuencias y handover. La BSC es un paso intermedio entre la BTS y el MSC.

---

<sup>11</sup> Es un dispositivo que realiza funciones tanto de transmisión (TX) como de recepción (RX), utilizando componentes de circuito comunes para ambas funciones, su acrónimo es TRX. El estándar GSM 08.52 v4.2.0 lo define como una entidad que soporta los ocho canales básicos de radio de una trama TDMA.

---

Figura 1.4 Subdivisiones e interfaces de la BSS.



#### ▪ Estación Base Transceptora

Definido en el ETS300593 como un componente de red que provee sus servicios en una célula y es controlado por una BSC. La BTS es el mecanismo de radio que comunica todas las llamadas entrantes y salientes de una célula y puede consistir de uno o más TRX, con o sin un equipo de control común.

#### ▪ Función para el Control de la Estación Base

En base al ETS300593, una BCF Base Control Function (Función para el Control de la Estación Base) es una entidad funcional que maneja funciones de control común dentro de una BTS. Para las BTS que se encuentran ubicadas en diferentes sitios, una de las BCF puede ser elegida para realizar funciones comunes al sitio.

---

### 1.3.3 Centro de Conmutación Móvil

El MSC es un conmutador encargado de las funciones de señalización y conmutación para las MS que se encuentran en su respectiva área (área MSC), tomando en consideración la localización de los suscriptores y la administración de los recursos radioeléctricos. El MSC y sus componentes, que se mencionan a continuación, se encuentran definidos en la sección 3 del ETS300522.

#### ▪ Registro de Localización Base

El HLR Home Location Register (Registro de Localización Base) es la entidad que cumple con la función de una base de datos a cargo de la gestión de abonados móviles. En el HLR se almacenan dos tipos de información:

- Información de la suscripción.
- Información de ubicación, que permite el encaminamiento de llamadas hacia el MSC desde la ubicación de la MS.

Se asignan dos tipos de números a cada unidad móvil suscrita y son almacenados en el HLR:

- El IMSI.
- El MSISDN Mobile Station International ISDN (Número Internacional de Estación Móvil ISDN).

El IMSI o el MSISDN pueden ser utilizados como una clave para tener acceso a la información de la base de datos del suscriptor móvil. La base de datos contiene otra clase de información como:

- Teleservicios y servicios portadores con la información del suscriptor.
-

- Restricciones de servicios. (por ejemplo: limitación de Roaming<sup>12</sup>).
- Servicios suplementarios, el HLR contiene los parámetros relacionados a estos servicios. (Los parámetros de los servicios suplementarios no necesitan ser almacenados completamente en el HLR, pero es una práctica segura en base al estándar ETS300522).

#### ▪ **Registro de Localización de Visitante**

Es el nodo encargado del registro de los usuarios «visitantes» en una red GSM. Una MS que se encuentre utilizando el servicio de roaming en un área MSC, es controlada por el VLR Visitor Location Register (Registro de Localización de Visitante) a cargo de esta área. Cuando dicho MS entra en una nueva LA inicia el procedimiento para registrarse, la MSC a cargo de esta área es notificada mediante el proceso de registro y transfiere al VLR la identidad del LA donde la MS se encuentra. Si la MS aún no está registrada, el VLR y el HLR intercambiarán la información necesaria para permitir el manejo apropiado de las llamadas asociadas a la MS. Un VLR puede estar a cargo de una o varias áreas MSC.

El VLR almacena los siguientes elementos:

- El IMSI.
- El MSISDN.
- El MSRN Mobile Station Roaming Number (Número de Roaming de una Estación Móvil).
- El TMSI Temporary Mobile Station Identity (Identidad Temporal de Estación Móvil).

---

<sup>12</sup> El roaming (o itinerancia en español), permite a un usuario acceder a los servicios desde redes de distintos operadores o proveedores de servicios (siempre y cuando existan acuerdos entre ellos). Es frecuente distinguir entre roaming nacional e internacional (en función de que las redes que ofrecen el servicio, pertenezcan a operadores del mismo o de distintos países) y roaming entre redes que utilizan distintas tecnologías (lo que implica la utilización de terminales duales).

---

- 
- La LMSI Local Mobile Station Identity (Identidad Local de Estación Móvil).
  - El LA donde la MS ha sido registrada. Esta información será utilizada para llamar a la MS.

#### ▪ **Centro de Autenticación**

El AuC Authentication Centre (Centro de Autenticación) está asociado con un HLR y almacena una clave de identificación para cada suscriptor móvil registrado. Esta clave es utilizada para generar:

- Información para la autenticación del IMSI.
- Una clave para cifrar la comunicación sobre la ruta de radio.

#### ▪ **Registro de Identidad de Equipo**

El EIR Equipment Identity Register (Registro de Identidad de Equipo) contiene una o varias bases de datos donde almacena la IMEI utilizada en el sistema GSM. El IMEI puede ser clasificado en una «lista blanca», «lista gris» o «lista negra». Una IMEI puede ser desconocida para el EIR. Un EIR contendrá como mínimo una «lista blanca» para almacenar los equipos en ella.

Un operador de red puede hacer uso administrativo del EIR junto a la IMEI de la siguiente manera:

- Utilizando los registros definidos («lista blanca», «lista gris» y «lista negra») quedando su aplicación a discreción del operador.
  - La lista blanca está compuesta por todos los números de serie de los equipos autorizados para utilizar el servicio.
  - La lista negra contiene todas las identidades de los equipos que deben ser bloqueados.
-

- Además de la lista blanca y la negra, los administradores tiene la posibilidad de utilizar la lista gris. Los equipos que se encuentran en la lista gris no son prohibidos, pero son rastreados por la red para propósitos de evaluación u otros propósitos.

### ▪ **Punto de Señalización**

Un SP Signalling Point (Punto de Señalización) es un nodo en una red de señalización que origina y recibe mensajes de señalización o transfiere mensajes de señalización desde un enlace a otro o ambos. Este nodo está relacionado con el CCS7 Common Channel Signalling System No. 7 (Sistema de Señalización por Canal Común No. 7) que se utiliza en el MSC.

### ▪ **Gateway MSC**

La GMSC Gateway MSC (Gateway MSC) realiza la función de conmutar una llamada a la ubicación de la MS. Las llamadas que provienen de redes de terceros (fijas y móviles de otros operadores) no pueden consultar el HLR del operador que posee la suscripción de la MS llamada y deben pasar a través de la GMSC para consultar al HLR apropiado y así direccionar la llamada a la MSC donde se encuentra la MS que se desea alcanzar.

### ▪ **Intercambio Local**

Un LE Local Exchange (Intercambio Local) es un dispositivo que realiza un intercambio, en el cual las líneas de un abonado de telefonía fija (ISDN) terminan y se conectan a una red de acceso móvil a través de la GMSC.

---

---

- **Gateway del MSC para SMS**

El SMS-GMSC Short Message Service - Gateway Mobile Switching Centre (Gateway del Centro de Conmutación Móvil para el Servicio de Mensajes Cortos) actúa como una interfaz entre el SMSC Short Message Service Centre (Centro de Servicio de Mensajes Cortos) y la PLMN, permitiendo que los mensajes cortos puedan ser entregados a las MS.

- **Interworking del MSC para SMS**

El SMS-IWMSC Short Message Service - Interworking Mobile Switching Centre (Interworking del Centro de Conmutación Móvil para el Servicio de Mensajes Cortos) actúa como una interfaz entre la PLMN y el SMSC, permitiendo que los mensajes cortos puedan ser enviados por las MS.

- **Función de Interworking**

La IWF Interworking Function (Función de Interworking) es una entidad funcional asociada con la MSC. La IWF proporciona la funcionalidad necesaria que permite el interworking entre la PLMN y las redes fijas (ISDN, PSTN y PDN Public Data Network (Red Pública de Datos)). Las funciones de la IWF dependen de los servicios y el tipo de red fija. La IWF es necesaria para convertir los protocolos utilizados en la PLMN a los utilizados en la red fija apropiada.

- **Centro de Operación y Mantenimiento**

El OMC Operation and Maintenance Centre (Centro de Operación y Mantenimiento) y las funciones relacionadas con éste, se definen en la «serie 12» de los estándares de GSM. El OMC es la entidad funcional por medio de la cual cada operador de red puede monitorear y controlar la OAM Operations,

---

Administration & Maintenance (Operación, Administración y Mantenimiento) de una PLMN.

La administración del sistema debería proporcionar todas las capacidades necesarias para la integración de todas las actividades que intervienen en la operación de una red móvil. El objetivo de administrar la PLMN es integrar las actividades del operador para lograr un intercambio de información coherente e integrada, apoyar la QoS Quality of Service (Calidad del Servicio) y ayudar a lograr los objetivos empresariales del operador.

Los objetivos generales para la administración de una PLMN son los siguientes:

- Operar de una forma integrada los elementos de una PLMN utilizando funciones estandarizadas.
- Interoperabilidad entre las PLMN del sistema móvil.
- Información sobre la QoS provista.

El OMC, en el contexto de una TMN Telecommunications Management Networks (Administración de Redes de Telecomunicaciones), tendrá las capacidades necesarias para permitir la operación y mantenimiento de una PLMN eficientemente mientras provee los servicios de acuerdo con los requerimientos de rendimiento del operador. La operación y el mantenimiento tienen un impacto directo en el costo de poseer y ejecutar el sistema.

A fin de reducir el costo total de mantenimiento durante el tiempo de vida de una red PLMN y equilibrar la calidad del servicio contra los gastos de operación, la red debe tener:

- Una configuración de hardware fácil de ampliar (modular).
-



- 
- Una configuración de software funcionalmente estructurada que pueda ser fácilmente modificada, si es necesario, y pueda prever una detección simple de errores.
  - Una interfaz simple «hombre-máquina» y un lenguaje de máquina sencillo para zonas OAM.
  - La capacidad de controlarse por sí mismo tanto como sea posible. Para que el personal de operaciones sólo tenga que supervisar los eventos (como fallas) y las reacciones de la red.
  - Una tasa mínima y/o inmunidad a fallas (por ejemplo, redundancia).
  - Intervenciones de mantenimiento simplificado y medidas que no requieren una amplia capacitación del personal de mantenimiento.
  - Una cantidad razonable de piezas de repuesto y servicio de reparación, manteniendo bajo el costo del equipo no-activo.

El mantenimiento incluye las medidas necesarias para conservar la QoS de la PLMN. El mantenimiento puede ser re-activo o pro-activo.

El mantenimiento pro-activo incluirá actividades de mantenimiento preventivo. Y el mantenimiento re-activo incluye las actividades realizadas para restaurar toda o parte de la red después de una falla. La programación de rutinas de mantenimiento pro-activo se basará en las recomendaciones de los proveedores de equipo, tomando en consideración el medio ambiente del equipo, por ejemplo: temperatura, humedad, niveles de polvo, utilización, etc. Es importante garantizar que cualquier mantenimiento rutinario no creará problemas operacionales, por ejemplo: un mantenimiento rutinario no debería llevarse a cabo durante una hora con alta demanda de tráfico en el sistema.

---

El mantenimiento re-activo es desencadenado por una falla del sistema (alarma), una alerta generada por un cambio en la operación o una denuncia de un cliente.

El proceso de mantenimiento debe comprometerse con:

- Monitoreo: El monitoreo de las alarmas de red o cambios en las operaciones.
- Detección: Tan pronto como una falla ocurra, la falla deberá ser detectada y reportada.
- Localización: La falla necesita ser localizada para iniciar las acciones de reparación.
- Reparación: El objetivo de la reparación es el de solventar la causa de la falla y no el efecto.
- Restauración: El servicio debería ser restaurado de la forma más efectiva económicamente.
- Registro: Los detalles de la falla y la acción de reparación deberían ser registrados para tomarse como base en fallas subsecuentes o similares.

#### ▪ Centro de Facturación

El BC Billing Centre (Centro de Facturación) es un sistema provisto por la administración de la PLMN que obtiene la información para la facturación desde las entidades de la red GSM y la aplica a las cuentas de los suscriptores. Los detalles de la operación del BC no son regulados por las especificaciones de GSM. La información para la facturación se reúne de dos partes: Los registros de llamadas producidos por el MSC y los eventos registrados por el HLR y VLR. El sistema GSM ha sido diseñado para facilitar el servicio de roaming a sus usuarios, cuando un usuario utiliza dicho servicio puede obtener una suscripción válida al utilizar su MS, la suscripción siempre se realiza a través de una conexión a su red «local» y a partir de ella puede trasladarse a otras redes que «visita»,

---

---

utilizándolas sin realizar pagos adicionales. Una factura se realiza desde la red local y cubre los cargos del suscriptor para ambas redes (red local y visitada).

La red visitada está obligada a prestar los servicios al visitante, si tiene una suscripción válida hacia la red local, este arreglo es bilateral entre operadores. Para obtener un reembolso por la red local, la red visitante debe enviar los detalles de utilización a la red local en un formato estándar basado en el tiempo.

Existe una relación entre cada PLMN y otras redes a las que se puede interconectar. Estas redes pueden ser «carriers» nacionales o internacionales y pueden ser redes fijas o móviles. Cada PLMN debe negociar con otras redes a las que se interconecta una base de compensación por todas las llamadas entregadas. Las reglas deberían ser flexibles para permitir que la red local pueda procesar la información proporcionada por la red visitada.

Los cargos al suscriptor se dividen en dos partes:

- Cargos por acceso (conexión) a la red: la facturación de este cargo es independiente del uso de la red y los servicios.
- Cargos por utilización de la red: la facturación de este cargo está estrictamente basado en las llamadas y depende de la utilización de la red.

Los diferentes componentes que se incluyen en los cargos por acceso a la red, son los siguientes:

- Uso de la PLMN GSM.
  - Uso de redes fijas (nacionales o internacionales)
  - Conexión entre diferentes redes.
  - Uso de SS7 Signaling System 7 (Sistema de Señalización Número 7).
  - Uso de un número de servicios suplementarios.
-

Los diferentes componentes que se incluyen en los cargos por utilización de la red, son los siguientes:

- Uso de red.
- Zona y país desde el cual la llamada es originada.
- Número llamado.
- Hora y fecha en la que la llamada es realizada.
- Tipos de servicio utilizados.

Como consecuencia de la constante movilidad de los suscriptores, una PLMN necesita mucha flexibilidad, el principio general para el cobro es que la parte que llama paga, dicho principio lo aplican las PLMN con las siguientes tres excepciones:

- Llamadas de cobro revertido.
- Llamadas redirigidas.
- Llamadas reenviadas.

En relación con la facturación individual de cada uno de los suscriptores el operador necesita un sistema de facturación flexible. Por ésta razón todas las llamadas pueden ser divididas básicamente en cinco componentes diferentes:

- Componente de origen de llamada.
  - Componente de terminación de llamada.
  - Componente de roaming de llamada.
  - Componente de reenvío de llamada.
  - Componente de tránsito de llamada.
-

---

Las PLMN intercambian la información sobre la facturación a través de un método normalizado, llamado EDI Electronic Data Interchange (Intercambio de Datos Electrónico). La información sobre la facturación incluye los nombre de las HPLMN Home Public Land Mobile Network (Red Móvil Pública Terrestre Local) y VPLMN Visited Public Land Mobile Network (Red Móvil Pública Terrestre Visitada), el número total de llamadas y el período de cobro.

Los TT Toll Tickets (Tiquete de Tarifa) son registros individuales enumerados para cada llamada y contienen toda la información necesaria para calcular los cargos de la llamada. Los TT son creados por el MSC, VLR y la GMSC. Cada TT incluye la IMSI del suscriptor móvil, ya que es la base para facturar el TT al suscriptor respectivo. El MoU especifica que los cargos del suscriptor son recolectados por el operador que posee la suscripción del usuario. Los TT de suscriptores locales, generados tanto internamente como los que provienen de otros operadores, deben ser almacenados de manera individual para cada suscriptor.

### **1.3.4 Interfaces**

La Figura 1.5 presenta el diagrama de una PLMN en el dominio de conmutación de circuitos con sus respectivas interfaces.

Las interfaces del MSC se encuentran definidas en la sección 5 del estándar ETS300522.

- **Interfaz Um**

Es la interfaz entre la MS y la BTS. Se define en el ETS300550. La interconexión entre la MS y la BSS utilizando la interfaz Um se muestra en la Figura 1.3. Las especificaciones técnicas de la interfaz Um han sido diseñadas con el objetivo de permitirle los siguientes aspectos:

---

- Diferentes tipos de MS y TE puedan usar la misma interfaz estándar.
- Movilidad de los usuarios dentro del área del sistema GSM.
- Evolución separada de las MS y los equipos de la red.
- Realizar llamadas utilizando el mismo código (número de llamada) sin importar en qué país se encuentre.
- Conexión de un MS a la red ISDN, de manera que sólo la capacidad del canal de radio y los protocolos ISDN son factores limitantes.

Las características de la interfaz Um son las siguientes:

- Estructura de canales y capacidades de acceso.
- Protocolos usuario-red (MS~BSS).
- Características de Operación y Mantenimiento.
- Características de Rendimiento.
- Características de Servicio.

#### ▪ **Interfaz A-bis**

Es la interfaz entre la BTS y la BSC. Se define en el ETS300592. La interfaz deberá ser capaz de soportar todos los servicios ofrecidos a los usuarios de GSM. Además, deberá permitir el control de los equipos de radio y la asignación de frecuencia en la BTS. La interconexión entre la BTS y BSC a través de la interfaz A-bis se muestra en la Figura 1.4 y se puede observar que la interfaz tiene la capacidad de soportar tres configuraciones internas diferentes de BTS:

- Un TRX simple.
  - Un conjunto de TRX, donde todos son atendidos por una conexión física común.
-

- 
- Un conjunto de TRX, cada uno atendido por su propia conexión física.

Las especificaciones técnicas de la interfaz A-bis han sido diseñadas con el objetivo de permitirle los siguientes aspectos:

- Conexión de BTS de distintos fabricantes a la misma BSC de acuerdo a la ubicación del transcodificador<sup>13</sup>.
- Conexión de BSC de varios fabricantes a las BTS del mismo tipo de acuerdo a la ubicación del transcodificador.
- El uso de la misma BTS en cualquier PLMN de acuerdo a la ubicación del transcodificador.
- El uso de la misma BSC en cualquier PLMN.
- Separar la evolución de las tecnologías de la BSC y BTS.
- Separar la evolución de las facilidades de Operación y Mantenimiento.
- Sub-multiplexación de canales de voz en circuitos de 64Kbps.
- Evolucionar hacia una menor tasa de códigos de voz (PCM).
- Localización de transcodificadores ya sea en una BSC o en una BTS.
- Soporte de todos los servicios definidos en las especificaciones técnicas de la «serie 02» de GSM.
- Una ampliación gradual de la capacidad de una BTS.
- Diferentes soluciones físicas para los diversos equipos en la BTS.
- Soporte de un sólo TRX formando una BTS.
- Soporte de un conjunto de TRX formando una BTS.

---

<sup>13</sup> Es un dispositivo que convierte los códigos de canal de voz, entre el codificador GSM y el estándar de «Modulación por Impulsos Codificados» (PCM) del CCITT, en un teléfono móvil de un sistema de telecomunicaciones.

---

- Soporte de una BTS como una entidad.

Las características de la interfaz A-bis son las siguientes:

- Parámetros físicos y electromagnéticos.
- Estructura de canales.
- Procedimientos para la transferencia de señalización.
- Procedimientos de configuración y control.
- Soporte de la información de Operación y Mantenimiento.

#### ▪ **Interfaz A**

Es la interfaz entre el BSS y el MSC. Se define en el ETS300587-1. La interfaz deberá ser capaz de soportar todos los servicios ofrecidos a los usuarios de GSM. Además, permite la asignación de recursos de radio adecuados dentro de la PLMN, así como la operación y mantenimiento de esos recursos. Las especificaciones técnicas de la interfaz A han sido diseñadas con el objetivo de permitirle los siguientes aspectos:

- Conexión de varias BSS de diferentes fabricantes al mismo MSC.
  - El uso de MSC de distintos fabricantes con BSS del mismo tipo.
  - El uso del mismo BSS en cualquier PLMN.
  - El uso del mismo MSC en cualquier PLMN.
  - Separar la evolución de las tecnologías de la MSC y la BTS.
  - Separar la evolución de las facilidades de operación y mantenimiento.
  - Evolucionar hacia una menor tasa de códigos de voz.
-



---

Las características de la interfaz A son las siguientes:

- Parámetros físicos y electromagnéticos.
- Estructura de canales.
- Procedimientos para la operación de red.
- Procedimientos para la configuración y control.
- Soporte de la información de Operación y Mantenimiento.

#### ▪ **Interfaz B**

Es la interfaz entre el MSC y el VLR. Cuando una estación móvil inicia el procedimiento de actualización de ubicación con el MSC, éste informa al VLR para que almacene la información relevante. Este procedimiento se produce cuando una MS se desplaza a otra área de ubicación y hace uso del servicio de roaming.

#### ▪ **Interfaz C**

Es la interfaz entre el MSC y el HLR, el MSC y la GMSC deben consultar al HLR para obtener la información necesaria para conmutar una llamada o un SMS dirigido a un suscriptor móvil.

#### ▪ **Interfaz D**

Es la interfaz entre el HLR y el VLR, esta interfaz es utilizada para intercambiar información relacionada a la ubicación de la MS y la administración del suscriptor móvil. El VLR informa al HLR la ubicación de una MS que es administrada por este último y le provee el número de roaming de dicha MS. El HLR envía al VLR toda la información necesaria para proveer los servicios al suscriptor móvil.

---

### ▪ **Interfaz E**

Es la interfaz empleada entre los MSC. Cuando una MS se mueve desde un área de servicio MSC a otra, durante una llamada, se inicia el procedimiento de handover<sup>14</sup> para mantener la continuidad de la comunicación.

### ▪ **Interfaz F**

Esta interfaz es utilizada para intercambiar información entre el MSC y el EIR, para que el EIR pueda verificar el estado del IMEI obtenido desde la MS.

### ▪ **Interfaz G**

Es la interfaz entre distintos VLR. Cuando un suscriptor móvil se mueve desde un VLR a otro VLR se inicia el procedimiento para intercambiar información. Este procedimiento puede incluir la obtención del IMSI y los parámetros de autenticación desde el primer VLR.

### ▪ **Interfaz H**

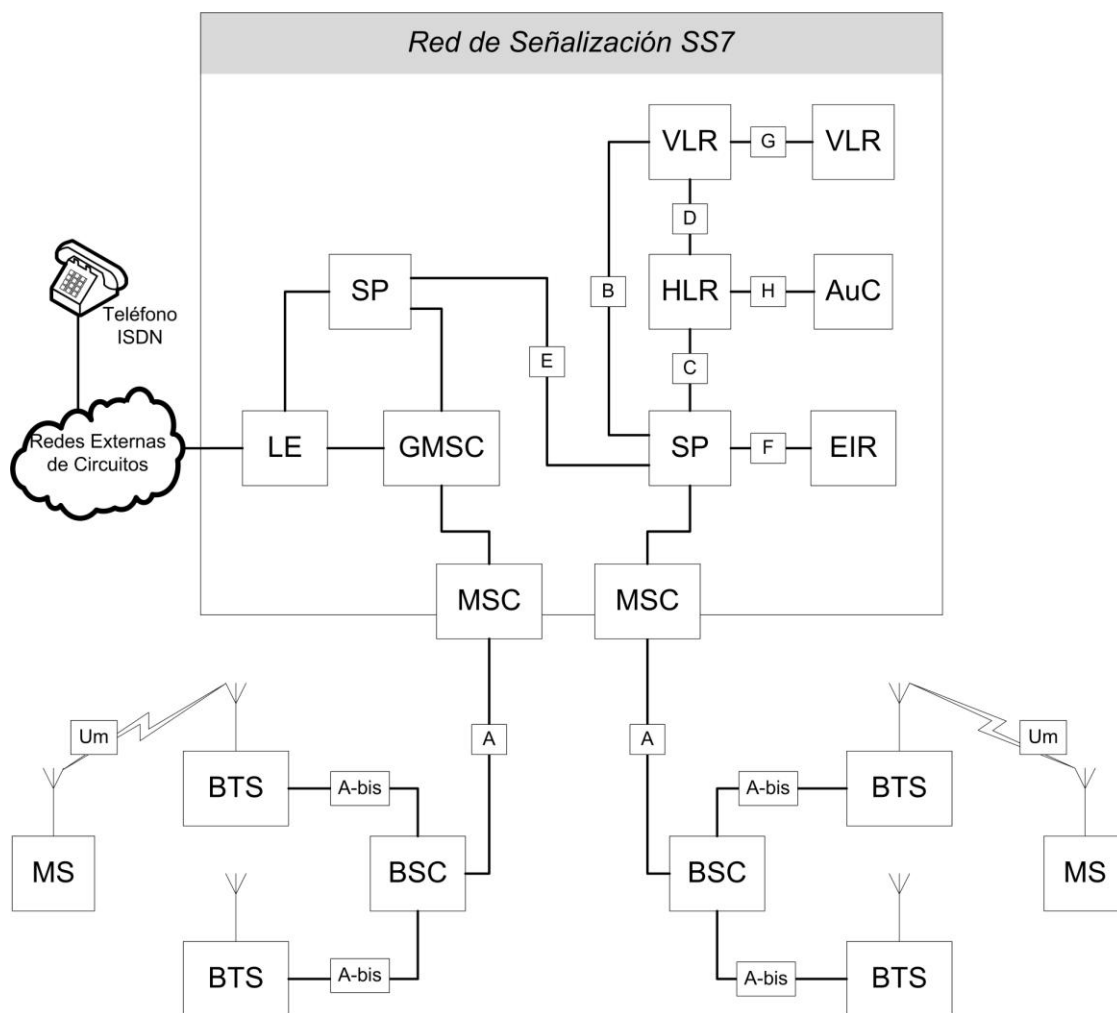
Es la interfaz entre el HLR y el AuC. Cuando un HLR recibe una solicitud para autenticar y cifrar los datos de un suscriptor móvil, éste hace una petición de los respectivos datos al AuC.

---

<sup>14</sup> Sistema utilizado en comunicaciones móviles celulares con el objetivo de transferir el servicio de una entidad a otra (BTS, BSC, MSC), cuando la calidad del enlace es insuficiente. Este mecanismo garantiza la realización del servicio cuando un móvil se traslada a lo largo de su zona de cobertura.

---

Figura 1.5 Configuración de una PLMN y sus respectivas interfaces (Dominio de conmutación por circuitos).



### 1.3.5 Estándar GPRS

Inicialmente el sistema GSM proporcionó acceso a Internet a una muy baja velocidad (9.6Kbps<sup>15</sup>), una velocidad de timeslot<sup>16</sup> ofrecida que no satisfacía las necesidades de los usuarios, por lo que posteriormente se empleó la tecnología

<sup>15</sup> Es la velocidad de transferencia de información binaria a través de una red.

<sup>16</sup> Intervalo de tiempo en una trama TDM Time Division Multiplexing (Multiplexación por División en el Tiempo).

HSCSD High-Speed Circuit Switched Data (Datos a Alta Velocidad Conmutados por Circuito) incrementando la velocidad de timeslot a 14.4Kbps.

Con el mismo objetivo del HSCSD, incrementar la tasa de transferencia, nació la tecnología GPRS General Packet Radio Service (Servicio General de Paquetes por Radio) habilitando transmisiones a una velocidad de timeslot máxima de 21.4Kbps. La mayor innovación de GPRS fue la incorporación de la conmutación de paquetes para permitir que el sistema GSM interactuara con las redes de datos. Lo cual implicó nuevos equipos de red, protocolos e interfaces. GPRS permitió también simultáneamente la utilización del mismo timeslot para varios usuarios.

La estandarización referente a GPRS se encuentra en el estándar ETSI TS101344 (GSM 03.60).

### ▪ **Arquitectura de GPRS**

El sistema GPRS es diferente de la transmisión de mensajes y códigos de voz en el dominio de la conmutación por circuitos ya que los datos son enviados en forma de paquetes. En cualquier momento que un paquete necesita ser transmitido, el recurso (ancho de banda sobre la interfaz Um) es asignado y el respectivo paquete es entregado al receptor independientemente que sea otro suscriptor móvil o un servidor en la Internet.

Los elementos de red presentados en los apartados desde el 1.3.1 al 1.3.3 pertenecen a la conmutación de circuitos. Los elementos que componen la arquitectura de GPRS, son denominados Nodos de Soporte GPRS (sección 5.4.1 de ETSI TS101344), y son los siguientes:

---

- **Nodo de Soporte GPRS (GSN)**

Un GSN GPRS Support Node (Nodo de Soporte GPRS) contiene todas las funciones requeridas para facilitar los servicios que provee la tecnología GPRS. También, recolecta la información relacionada con la facturación. En una PLMN pueden existir varios GSN.

- **Gateway del Nodo de Soporte GPRS (GGSN)**

La GGSN Gateway GPRS Support Node (Gateway del Nodo de Soporte GPRS) es el nodo al que tienen acceso las redes de paquetes de datos externas que utilizan protocolos como IP Internet Protocol (Protocolo Internet) y X.25, y que utilizan direcciones basadas en PDP Packet Data Protocol (Protocolo de Paquete de Datos). La GGSN contiene la información de enrutamiento de los suscriptores móviles, por lo que es capaz de enrutar un paquete a la ubicación de una MS. La GGSN es el primer punto de interconexión entre una PDN Private Data Network (Red Privada de Datos) y una PLMN del sistema GSM/GPRS. La GGSN almacena la información de los cargos a facturar al suscriptor por tener acceso a una PDN.

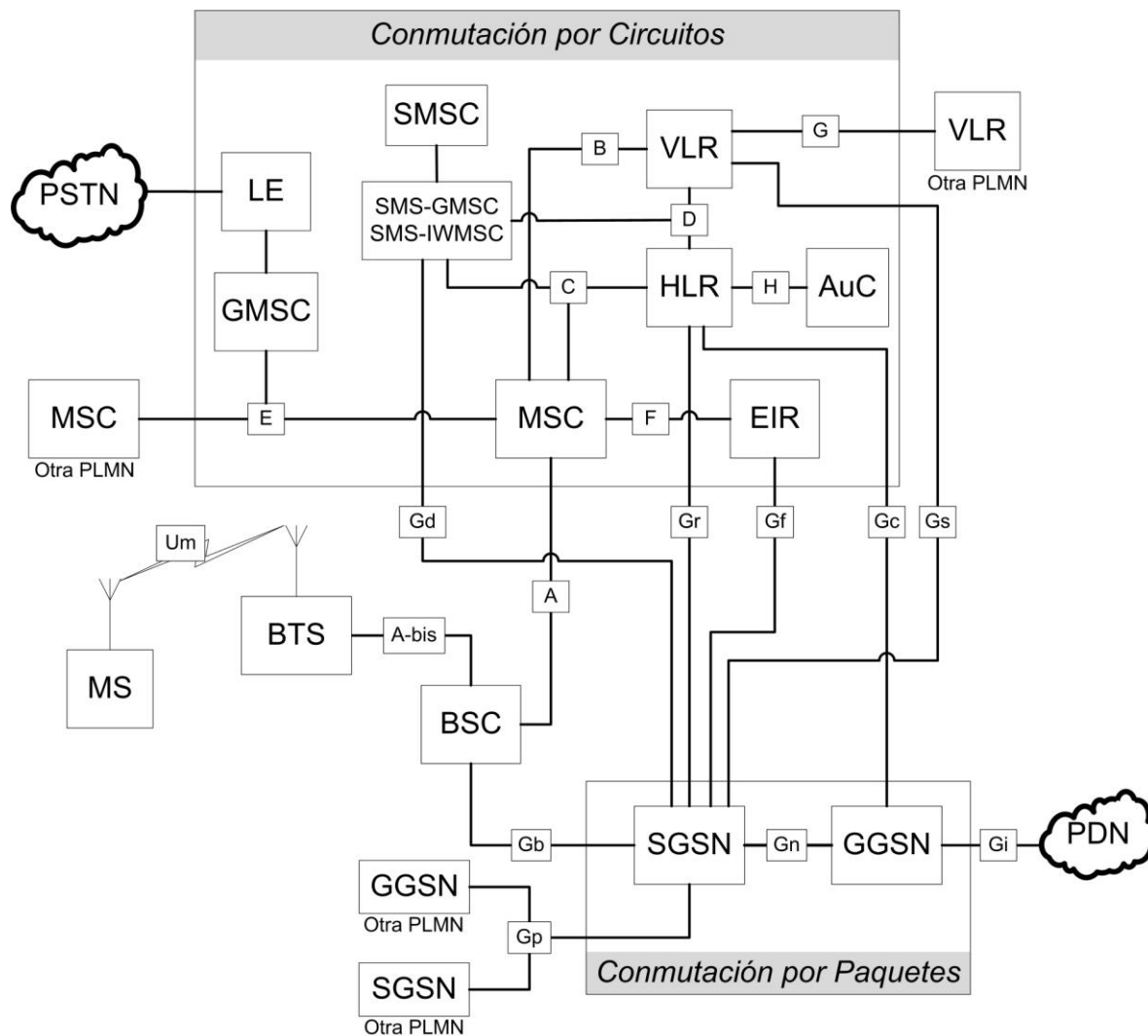
- **Nodo de Soporte para Servicios GPRS (SGSN)**

El SGSN Serving GPRS Support Node (Nodo de Soporte para Servicios GPRS) es el nodo que provee los servicios requeridos por una MS. El SGSN establece un contexto para administrar la portabilidad conteniendo la información pertinente a la movilidad y seguridad de la MS, para ello, el SGSN tiene la tarea de encriptar el tráfico orientado a paquetes. El detalle sobre la cantidad de datos (Kbyte o Mbyte), transferidos por el usuario es recolectado por el SGSN para su facturación. El SGSN y la GGSN pueden ser combinados funcionalmente en el mismo nodo físico

---

o pueden ubicarse en diferentes nodos. Ambos contienen funcionalidades para el enrutamiento IP y pueden ser interconectados con Routers<sup>17</sup> IP.

Figura 1.6 Arquitectura conjunta GSM/GPRS y sus interfaces.



<sup>17</sup> Equipo de red que trabaja en la capa 3 del modelo de referencia OSI. En castellano significa "Enrutador", pero es mejor conocido por su nombre en inglés "Router".

---

## ▪ Interfaces para GPRS

Las interfaces de GPRS fueron nombradas utilizando la letra G en mayúscula más una letra en minúscula. La lista de las interfaces «Gx», es la siguiente:

- Gb: Interfaz entre el SGSN y el BSS. Proviene de «Base».
- Gc: Interfaz entre la GGSN y el HLR. Proviene de «Context».
- Gd: Interfaz entre un SMS-GMSC o SMS-IW MSC y un SGSN.
- Gf: Interfaz entre un SGSN y un EIR. Proviene de «Fraud».
- Gi: Interfaz entre GGSN y una PDN externa. Proviene de Internet.
- Gn: Interfaz entre dos GSN en la misma PLMN. Proviene de «Node».
- Gp: Interfaz entre dos GSN de diferentes PLMN. Proviene de «PLMN».
- Gr: Interfaz entre un SGSN y un HLR.
- Gs: Interfaz entre un SGSN y un VLR.

## 1.4 TECNOLOGÍA DE GSM

### 1.4.1 Técnicas de Acceso Múltiple

El objetivo de las técnicas del acceso múltiple es el de combinar señales de diferentes fuentes en un medio de transmisión común de tal forma que, en los destinos, los diferentes canales puedan ser separados sin interferencia mutua. En otras palabras, los sistemas de acceso múltiple permiten a muchos usuarios compartir un medio común de la manera más eficiente. Existen tres técnicas básicas de acceso múltiple: FDMA Frequency Division Multiple Access (Acceso múltiple por división de frecuencia), TDMA Time Division Multiple Access (Acceso Múltiple por División de Tiempo) y CDMA Code Division Multiple Access (Acceso Múltiple por División de Códigos).

---

Todas las técnicas de MA Multiple Access (Acceso Múltiple) deben tener una eficiencia de la unidad, provista por las señales transmitidas por los usuarios ortogonales unos de otros. Sin embargo, esto es difícil de alcanzar.

#### ▪ TDMA

En TDMA el usuario comparte el espectro de radio en el dominio del tiempo. Un usuario individual es alojado en un timeslot durante el cual posee el acceso a toda la banda de frecuencia designada para el sistema (TDMA de banda ancha) o solo parte de la banda (TDMA de banda angosta). En TDMA, la eficiencia se reduce debido a la inclusión de guardas de tiempo y secuencias de sincronización.

#### ▪ FDMA

En FDMA, los usuarios comparten el espectro de radio en el dominio de la frecuencia. El usuario está localizado en una parte de la banda de frecuencia la cual es utilizada a lo largo de la conversación. En FDMA, el número de canales de voz está reducido debido a las bandas de guarda necesarias entre canales con el fin de reducir los requerimientos de los filtros roll-off<sup>18</sup>.

#### ▪ CDMA

CDMA combina las técnicas FDMA y TDMA. Para CDMA basado en espectro disperso, cada usuario es asignado a un código único pseudo-aleatorio y con él puede acceder únicamente al dominio de tiempo-frecuencia. La eficiencia de un sistema CDMA está reducida debido a la no ortogonalidad de los códigos.

---

<sup>18</sup> Es un tipo de filtro diseñado para atenuar gradualmente las frecuencias por encima o por debajo de la frecuencia de corte

---



---

### 1.4.2 Especificaciones del Sistema GSM

En la Tabla 1.1 se presenta el resumen de las especificaciones técnicas del sistema GSM.

Tabla 1.1 Resumen del sistema GSM para la banda de 800MHz

Parámetro	Valor
Ancho de Banda del Sistema	25MHz
Ancho de Banda de la portadora	200KHz
Cantidad de portadoras	124
Velocidad por timeslot	9.6Kbps
Codificador	RPE-LTP
Tiempo de CODEC	20ms
Corrección de Errores	FEC-1/2
Control de Error	CRC-3
Multiplexación	TDMA
Modulación	GMSK
Canal de Control	TDMA

En la Figura 1.7, Figura 1.8 y Tabla 1.2 se presentan la asignación de bandas de frecuencia para telefonía móvil GSM en El Salvador.

---

Figura 1.7 Banda de 800MHz utilizada en El Salvador para GSM

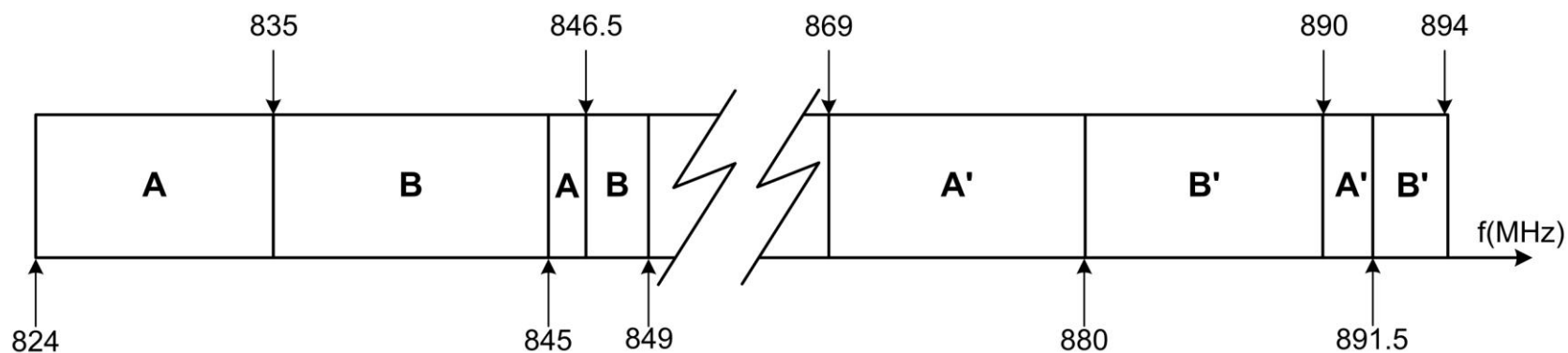
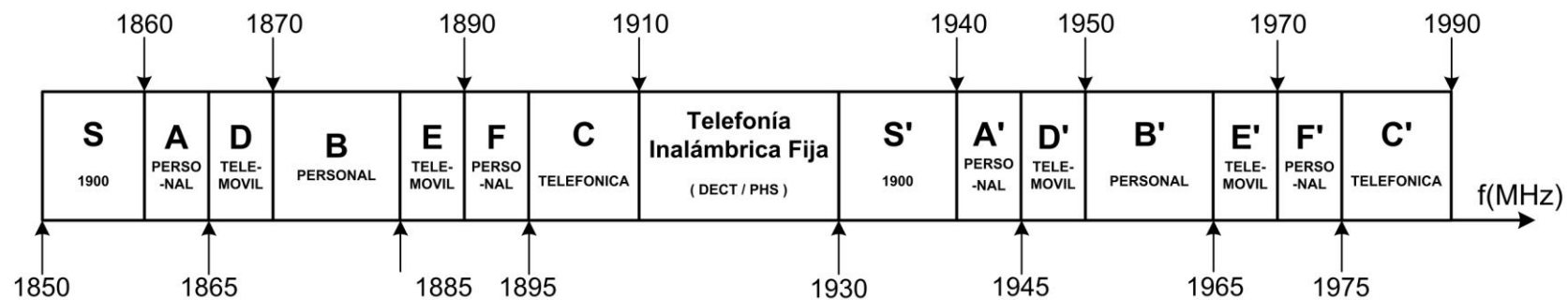


Figura 1.8 Banda de 1800 y 1900 MHz utilizada en El Salvador para GSM



---

 Tabla 1.2 Banda de 900MHz utilizada en El Salvador para GSM

Recepción (MHz)	Transmisión (MHz)	Área de Cobertura
903.3	948.3	Zona Occidental
910.0	955.0	Zona Occidental
894.1	939.1	Zona Central
904.8	949.8	Zona Central
909.8	954.8	Zona Oriental
907.5	952.5	Zona Oriental

Fuente: CNAF Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias, SIGET.

### ▪ Burst

La velocidad de bit que modula una portadora GSM es de 270.8Kbps, significando un intervalo de tiempo de 577 $\mu$ s que corresponde a una duración de 156.25 bits. Se denomina «Burst» a esta ráfaga o secuencia de datos de extensión 156.25bits.

El Burst está compuesto de la carga útil y una banda de guarda. La primera contiene los datos para ser transmitidos, una secuencia de entrenamiento y una cola de bits. En la segunda, el periodo de guarda, no se transmite nada y su propósito es permitir una variación en el tiempo de llegada del Burst sin que se traslapen las partes útiles de los Burst adyacentes.

Se definen 5 tipos de Burst en el sistema GSM.

1. Burst Normal.
  2. Burst de corrección de Frecuencia.
  3. Burst de Sincronización.
  4. Burst vacío.
  5. Burst de Acceso (duración de 68.25bits).
-

### ▪ Estructura de Tramas

La estructura de datos dentro de una ráfaga normal está formada por 148bits que se transmiten a una velocidad de 270.8Kbps (8.25bits sin uso proporcionan un tiempo de guarda al final de cada ráfaga). Del total de 148 bits por timeslot, 114 son bits de información que se transmiten en dos secuencias de 57bits al comienzo y al final de la ráfaga.

En el centro de la ráfaga hay una secuencia de 26 bits de entrenamiento que permiten al ecualizador adaptable del móvil o de la estación base analizar las características del canal de radio antes de decodificar los datos. A cada lado de la secuencia de entrenamiento se encuentran los «Stealing Flags». Estos dos «Flags» se utilizan para distinguir si el timeslot contiene datos de voz o control.

Existen ocho timeslots por trama TDMA y el periodo de trama es de 4.615 ms. Una trama contiene  $8 \times 156.25 = 1250$  bits, aunque algunos periodos no se utilizan. La velocidad de las tramas es de 270.8Kbps/1250 bits/trama es decir 216.66 tramas por segundo. Las tramas decimotercera y vigesimosexta no se utilizan para tráfico, sino para tareas de control. Cada una de las tramas normales se agrupa en estructuras más grandes llamadas multitramas que a su vez se agrupan en supertramas y éstas en hipertramas.

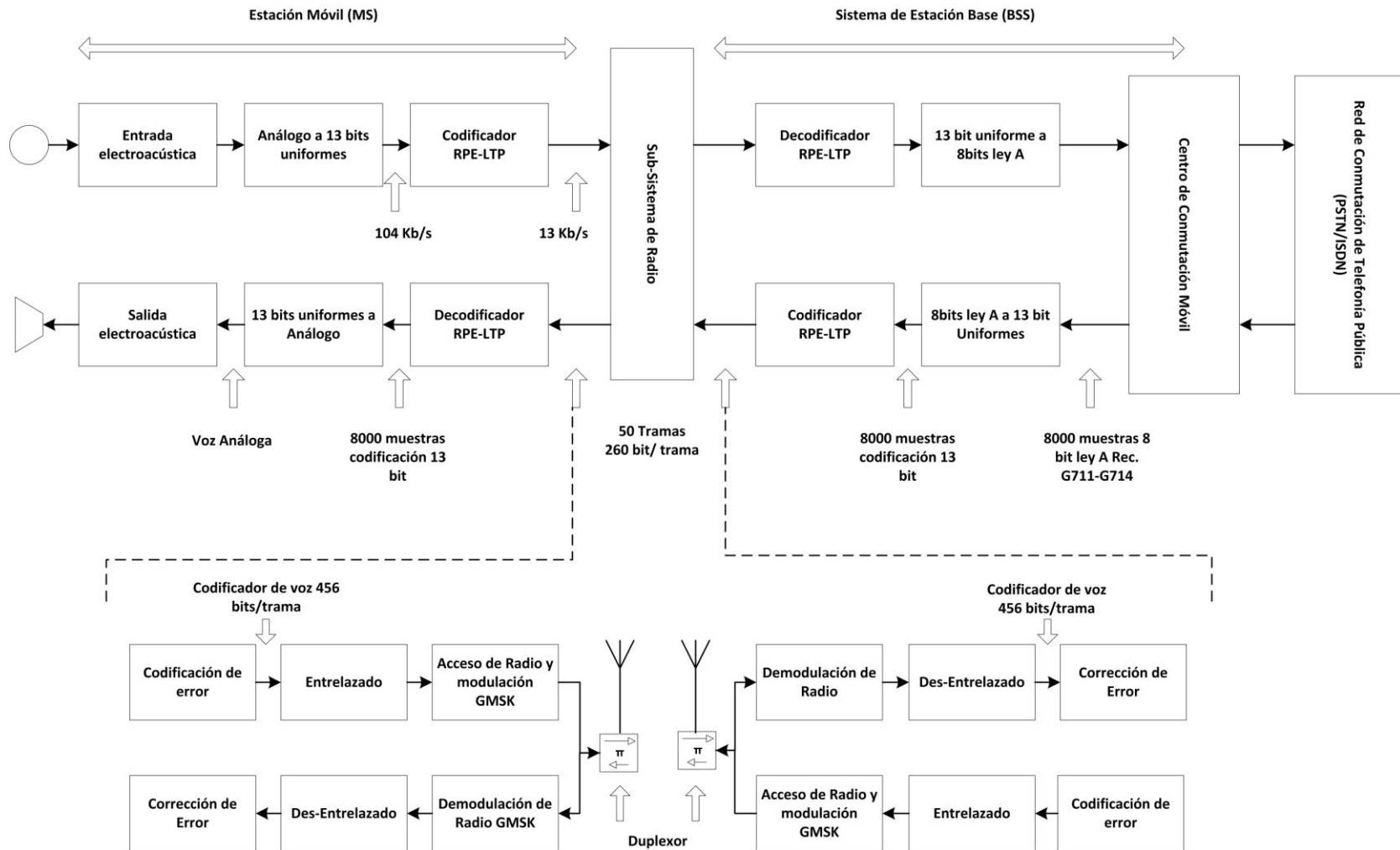
Una multitrama contiene 26 tramas TDMA y una supertrama contiene 51 multitramas. Una hipertrama contiene 2048 supertramas.

### ▪ Sistema de Radio GSM

La Figura 1.9 muestra el diagrama de bloques de un sistema de radio móvil.

---

Figura 1.9 Diagrama de Bloques de un Sistema de Radio GSM



---

El ancho de banda para el sistema GSM 800MHz es de 25MHz, el cual provee 124 portadoras, cada una teniendo un ancho de banda de 200KHz. Con ocho usuarios por portadora existen alrededor de mil conversaciones o canales de datos. Con 200KHz de espacio por portadora y el rango de velocidad de datos, la eficiencia espectral del sistema es de 1.35bps/Hz.

Con una velocidad 270.8Kbps divididos entre ocho usuarios en GSM, la velocidad de datos por usuario es de 33.85Kbps.

El algoritmo de codificación de voz seleccionado para GSM es LPC Linear Predictive Coding (Codificación Lineal Predictiva), en donde 260 bits se producen cada 20ms, lo cual resulta en un rango de bit de 13Kbps.

Los bits de salida desde el codificador de voz están divididos dependiendo de la sensibilidad de los errores de bits y éstos son codificados de diferente forma. Estos bits están distribuidos en: 78 bits de información lateral (por ejemplo, coeficientes de filtrado, ganancia y tono de información) y 182 bits residuales de la trama de bits.

Un interpolador<sup>Ψ</sup> recoge la información de voz generada en 40ms ( $2 \times 456 = 912$  bits) y lo entrelaza sobre ocho tramas que corresponden aproximadamente a 40ms. La distancia de entrelazado de ocho se encuentra adecuada para aleatorizar los errores debidos al multitrayecto. En otras palabras, los errores que están incrustados en la secuencia de los 912 bits del canal tienden a estar dispersos aleatoriamente en el flujo de bit presentes en el decodificador del receptor. Con una duración de entrelazado de 40ms y una distancia de entrelazado de ocho, el tamaño de la trama está teóricamente limitado a 5ms. De esa forma, la longitud de trama actual seleccionada es de 4.6ms.

El método de modulación en GSM es GMSK Gaussian Minimum Shift Keying (Modulación por Desplazamiento Gausiano Mínimo) el cual facilita el uso del

---

<sup>Ψ</sup> Referirse al glosario.

---

---

ancho de banda angosta y permite ambas capacidades de detección: coherente y no coherente<sup>Ψ</sup>.

En GMSK, los pulsos rectangulares son pasados a través de un filtro Gaussiano<sup>Ψ</sup> antes de que pasen a través del modulador. El ancho de banda pre-Gaussiano normalizado se mantiene en 0.3 (producto BT), el cual corresponde a un filtro de banda base con ancho de banda de 81.25KHz para agregar un rango de velocidad de datos de 270.8Kbps. El producto BT es un compromiso entre el BER Bit Error Rate (Tasa de Bits Erróneos) adecuado y los lóbulos laterales de bajo nivel necesarios para satisfacer los requerimientos de interferencia de canal adyacente.

Con un intervalo de bit de 3.7μs la señal GSM encontrará una cantidad significativa de ISI Intersymbol Interference (Interferencia Intersímbolo)<sup>Ψ</sup> en el camino del radio móvil debido al multitrayecto (en el área urbana el retraso mínimo por multitrayecto se encuentra entre 3 y 6μs). Como consecuencia, es necesario un ecualizador adaptativo<sup>Ψ</sup>. En el sistema GSM se permiten diferentes tipos de ecualizadores, se han utilizado ecualizadores como el Viterbi y el DFE Decision Feed Back (Decisión de Retroalimentación).

El retraso en GSM está limitado en alrededor de 80ms con el fin de evitar molestias al hablante. Para mantener una conversación de calidad aceptable en la duración de una llamada ha sido implementado un proceso de handover en la red GSM. Esto le permitirá al sistema mantener una cierta calidad de señal. Por ello una señal de usuario como resultado de su localización a diferentes distancias de la BS, no sobrepasa al sitio de ubicación de la célula, ya que la BS instruye a la MS para ajustar su temporización adecuadamente.

Los datos de conversación del usuario a una velocidad de 104 Kbps se codifican a 13 Kbps y luego se aplica el código de corrección de errores<sup>Ψ</sup> con el fin de mitigar los errores de disparos del canal, los datos del usuario son interpolados en las 8 tramas. GMSK permite la amplificación clase C en el móvil. Un amplificador clase

---

<sup>Ψ</sup> Referirse al glosario.

---

C puede ser utilizado para una señal envolvente constante y proporcionar así operación saturada con máxima eficiencia.

### 1.4.3 Eficiencia espectral del sistema GSM

La eficiencia espectral global del sistema puede ser calculada multiplicando la modulación y las eficiencias de los accesos múltiples separadamente. La medida de la eficiencia del espectro con respecto a la modulación se define de la siguiente forma:

$$\eta_m = \frac{\text{Total de número de canales disponible en el sistema}}{(\text{total de ancho de banda disponible})(\text{área del cluster})} \quad (1.1)$$

Donde:

- $\eta_m$  = denota la eficiencia de modulación en los canales / MHz / Km<sup>2</sup> y es calculada por:

$$\eta_m = \frac{B_t / B_c}{B_t(N \cdot A)} = \frac{1}{B_c(N \cdot A)} \quad (1.2)$$

Donde:

- $B_t$  denota el total de ancho de banda disponible para el sistema en MHz.
- $B_c$  es el ancho de banda del canal de voz o el espacio entre canales en MHz.
- $N$  representa el número de células por clúster (tamaño del clúster).
- $A$  es el área de cobertura de una célula en Km<sup>2</sup>.

Con ello se puede observar que la eficiencia del espectro es independiente de  $B_t$  y solo depende del ancho de banda del canal  $B_c$  y del área del cluster ( $N \times A$ ). Esto

---



---

es lo que se llama eficiencia de modulación debido a que el ancho de banda del canal  $B_c$  es una función de la modulación. Si se decrementa el ancho de banda del canal, la eficiencia de modulación del sistema puede ser incrementada sin que ello fuerce un incremento en el área de cobertura del cluster ( $N \times A$ ). Asumiendo que el área de cobertura de la célula del sistema posee restricciones geográficas (relacionadas a la propagación) mejores que la modulación, la última ecuación puede escribirse como:

$$\eta_m \propto \frac{1}{NB_c} \quad (1.3)$$

La eficiencia relativa del sistema «x» con respecto al sistema «y» puede ser escrita como:

$$\eta_r = \frac{(B_c)_y \cdot N_y}{(B_c)_x \cdot N_x} \quad (1.4)$$

El número de células en un cluster  $N$  depende de la tolerancia del formato de modulación dado para la interferencia desde la célula más cercana y reutilizando el mismo canal. Asumiendo que el ambiente de ruido del canal es insignificante comparado con la interferencia co-canal, entonces,  $N$  puede ser expresado en términos de  $D/R$  o  $C/I$  como sigue:

$$\frac{C}{I} = \frac{1}{6} \cdot \left( \frac{D}{R} \right)^\alpha = \frac{1}{6} \cdot (3N)^{\alpha/2} \quad (1.5)$$

Donde:

- $C/I$  es la relación portadora-interferencia co-canal, que determina la calidad de la señal recibida.
-

- 
- D/R es la distancia de reutilización co-canal,
  - N es el tamaño del cluster, y
  - $\alpha$  es la constante de propagación.

Sólo se han considerado las primeras seis filas de interferencia co-canal, la cual representa adecuadamente un sistema práctico. Asumiendo la ley de propagación de un cuarto de potencia para un ambiente urbano, se puede expresar la eficiencia relativa en términos de requerimientos C/I de dos sistemas como:

$$\eta_r = \frac{(Bc)_y \cdot \sqrt{(C/I)_y}}{(Bc)_x \cdot \sqrt{(C/I)_x}} \quad (1.6)$$

En donde, la eficiencia del espectro relativa al sistema decrece de acuerdo al incremento de la raíz cuadrada de C/I, pero es directamente proporcional a la reducción en el ancho de banda del canal.

Para maximizar la eficiencia del espectro del sistema GSM, se ha determinado que un incremento significativo en la eficiencia del espectro se puede alcanzar utilizando transmisión activada por voz. El principio básico, DTX Discontinuous Transmission (Transmisión Discontinua), es el de conmutar el transmisor únicamente en aquellos períodos cuando existe voz activa para transmitir, reduciendo así el promedio de la interferencia en el aire y permitiendo un reuso pequeño de frecuencia del tamaño del clúster<sup>19</sup>. Los requerimientos de potencia del móvil se ven reducidos.

---

<sup>19</sup> Conjunto de células.

---

---

▪ **Eficiencia del Acceso Múltiple en los sistemas FDMA y TDMA.**

Matemáticamente, el factor de eficiencia  $\eta$  en acceso múltiple se define como:

$$\begin{aligned}\eta &= (\text{Eficiencia MA en el tiempo})(\text{Eficiencia MA en la frecuencia}) \\ \eta &= \eta_T \cdot \eta_F\end{aligned}\quad (1.7)$$

▪ **Técnica FDMA.**

La eficiencia de FDMA se expresa con la siguiente ecuación:

$$\eta_{\text{MA,FDMA}} = \eta_F \cdot \eta_T = \eta_F = \frac{B_c \cdot M_a}{B_t} \leq 1 \quad (1.8)$$

En donde,

- $M_a$  es el número total de canales de voz disponibles para el sistema,
- $B_c$  es el ancho de banda del canal de voz o espaciamiento de canal,
- $B_t$  es el ancho de banda total disponible del sistema en MHz.

Su eficiencia en el dominio del tiempo es la unidad ya que un usuario individual utiliza el canal el 100% del tiempo. También se puede expresar como:

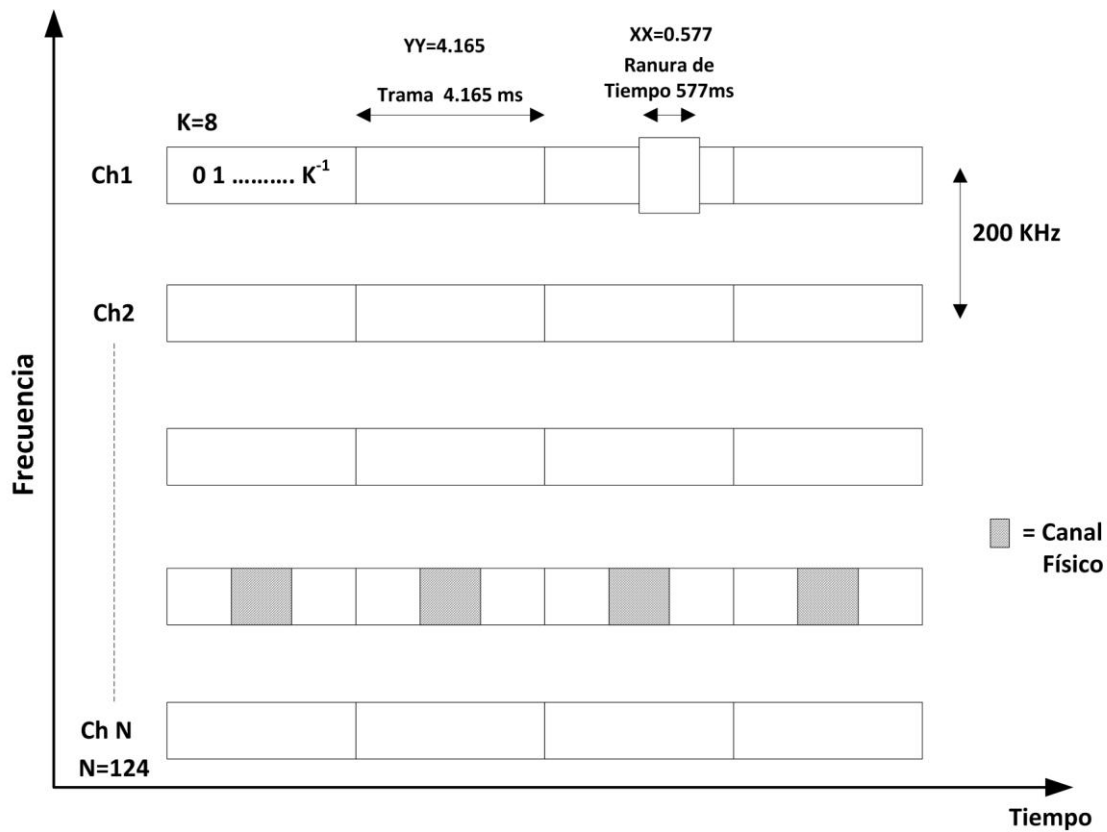
$$\eta_{\text{MA,FDMA}} = \frac{(\text{Canal de voz en bits / s}) \cdot M_a}{(\text{Total de BW en bits / s})} \quad (1.9)$$

La Figura 1.10 representa el esquema de un sistema típico FDMA/TDMA. La banda de frecuencia disponible está dividida entre muchos canales portadores, cada uno posee un cierto ancho de banda. En general, la eficiencia es evaluada

---

en consideración de la banda de guarda, la cual es requerida en la mayoría de los sistemas de comunicación. Sin embargo, en los sistemas celulares la banda de guarda entre canales no está incluida en el canal adyacente debido a que no pertenece a la misma célula.

Figura 1.10 Esquema de un sistema típico FDMA/ TDMA.



#### ▪ Técnica TDMA.

Se definirá la eficiencia de TDMA para banda ancha y angosta separadamente. La eficiencia de TDMA de banda ancha se expresa como:

$$\eta_{MA,TDMA} = \frac{\tau \cdot Mt}{T} \leq 1 \quad (1.10)$$

---

Donde:

- $\tau$  denota la duración del timeslot para una transmisión de voz o datos en segundos.
- $T$  es la duración de la trama en segundos.
- $Mt$  es el número de timeslots para transmisión de voz en una trama.

Su eficiencia en el dominio de la frecuencia es la unidad. Se asume que el total de la banda disponible es compartida por todos los usuarios. Normalmente, en un sistema TDMA de banda ancha el número de timeslots o usuarios es  $\geq 10$ . Un sistema GSM utiliza esquemas de TDMA de banda angosta en donde el total de la banda está dividido en un número de sub-bandas, cada una utilizando la técnica TDMA. Para los sistemas TDMA de banda angosta, la eficiencia en el dominio de la frecuencia no es la unidad, debido a que los canales de los usuarios individuales no utilizan toda la banda de frecuencia disponible para el sistema. La eficiencia para la banda angosta se define como:

$$\eta_{MA,TDMA} = \eta_T \cdot \eta_F = \left( \frac{\tau \cdot Mt}{T} \right) \cdot \left( \frac{Bu \cdot Mu}{Bt} \right) \leq 1 \quad (1.11)$$

Donde:

- $Bu$  denota el ancho de banda que un usuario individual utiliza durante su timeslot.
- $Mu$  es el número de usuarios que comparten el mismo timeslot en el sistema pero tiene acceso a diferentes bandas de frecuencias.

El primer factor de la ecuación anterior corresponde a la eficiencia TDMA de banda ancha, asumiendo que la eficiencia FDMA es igual a la unidad. De la misma

---

forma, el segundo factor es la eficiencia FDMA, asumiendo que la eficiencia TDMA es igual a la unidad.

#### **1.4.4 Codificación de Voz.**

La selección del codificador de voz más adecuado para el sistema GSM se obtuvo mediante pruebas subjetivas extensas en varios idiomas y diferentes condiciones de operación. Después de muchas pruebas y de las evaluaciones finales, sólo se eligieron 4 codificadores de muchos otros propuestos los cuales se detallan a continuación, dos diferentes codificadores de pulsos-excitados y dos codificadores de sub-banda.

- RPE-LPC Regular Pulse Excitation – Linear Predictive Coding (Excitación de Pulsos Regular con Codificación Lineal Predictiva), diseñado en Alemania por Philips, posee una velocidad de transmisión de 14.77 Kbps.
  - MPE-LTP Multi Pulse Excitation – Long Term Prediction (Excitación Multipulsos con Predicción a Largo Plazo), diseñado en Francia por IBM. La implementación particular de este codificador de voz utiliza una velocidad de transmisión de 13.2 Kbps y una codificación de 2.8 Kbps para la FEC Forward Error Correction (Corrección de Error). En total posee una velocidad de bit de 16 Kbps.
  - SBC-APCM Sub Band CODEC – Adaptive PCM (CODEC de Sub Banda con PCM Adaptativo) codifica la sub-banda en base a la división de la señal de banda base de voz en un número de sub-bandas y luego codifica de forma brusca la amplitud de la señal contenida en cada sub-banda. Codificando la sub-banda en un bloque PCM adaptativo de 14 sub-bandas, diseñado en Suecia. Este codificador utiliza filtros QMF Quadrature Mirror Filter (Filtro de Cuadratura en Espejo) para dividir la señal de entrada en 16 sub-bandas de un ancho de banda cada una de 250Hz, de las cuales las dos bandas más altas no son transmitidas. La velocidad de transmisión total
-

---

de las señales de sub-banda es de 10 Kbps, el lado de la información es de 3Kbps, la cual es protegida por 3Kbps de FEC, resultando en una velocidad total de datos de 16 Kbps.

- SBC-ADPCM Sub Band Codec – Adaptive Delta PCM (CODEC de Sub Banda con PCM Adaptativo Diferencial) codifica la sub-banda con PCM adaptativo diferencial en seis sub-bandas (diseñado en Inglaterra). En este esquema la señal de entrada de voz es dividida en 8 sub-bandas, de las cuales solo se transmiten 6. la posición de bit de las sub-bandas fue ajustada, por consiguiente el lado de la información no fue transmitido, lo que hace al esquema más robusto bajo condiciones de ruido, por lo que no es equipado con protección FEC. La velocidad de los datos es de 15 Kbps.

### **1.4.5 Modulación Digital**

Los requerimientos generales para la modulación digital en un sistema celular son las siguientes:

- Modulación eficiente y compacta.
- Buen desempeño del BER.
- Uso eficiente de la potencia «DC» del móvil.
- Aplicabilidad en los entornos celulares.
- Fácil implementación.

A continuación se presenta una tabla comparativa del rendimiento de varios esquemas para la modulación digital con un  $\text{BER} = 10^{-6}$ .

---

---

 Tabla 1.3 Características de las técnicas de modulación.

Técnica de Modulación	C/N (dB) <sup>20</sup>	Eb/No (dB) <sup>21</sup>	C/I (dB) <sup>22</sup>
GMSK (BT=0.3) para GSM.	10	8	12
8-PSK para EDGE.	18.5	14	35

La separación de canales, la cual se utiliza como una medida de la eficiencia de modulación, debe ser tan angosta como sea posible. Asumiendo que en el espectro de RF Radio Frequency (Radio Frecuencia) los canales adyacentes no se pueden traslapar entre sí, la separación requerida entre los canales «fs» viene dada por:

$$f_s = B + 2\Delta f + \Delta D \quad (1.12)$$

Donde:

- B es el ancho de banda de transmisión ocupado por la potencia del espectro de la señal de RF
- $\Delta f$  es la portadora de frecuencia derivada en cada transmisor
- $\Delta D$  es el desplazamiento doppler<sup>23</sup>.

Ya que el ancho de banda de transmisión,  $B = R_d/m$ , donde  $R_d$  denota la velocidad de datos del canal y “m” es la eficiencia de transmisión determinada por el método de modulación digital, la ecuación se puede escribir como:

$$f_s = (R_d/m) + 2\Delta f + \Delta D \quad (1.13)$$

---

<sup>20</sup> Es la relación de la potencia de la portadora con respecto al ruido.

<sup>21</sup> Es la relación de la densidad de potencia de energía por bit con respecto al ruido.

<sup>22</sup> Es la relación de la potencia de la portadora con respecto a una interferencia dada.

<sup>23</sup> Consiste en la variación de la longitud de onda de cualquier tipo de onda emitida o recibida por un objeto en movimiento.

---



---

Para lograr una separación de canal más angosta en el sistema digital para sistemas de transmisión de voz, es necesario realizar lo siguiente:

1. Reducir la velocidad de datos del canal de voz codificado.
2. Hacer más angosta la eficiencia de banda de la modulación digital.
3. Disminuir la desviación del oscilador, esto significa estabilizar la portadora de frecuencia.

Ya que no se puede hacer nada contra el efecto doppler, que está en función de la velocidad del medio, la desviación de la portadora de frecuencia viene dada por el producto de la portadora de frecuencia RF y la estabilidad de la frecuencia en los osciladores locales.

#### ▪ **Modulación MSK.**

Debido a que la potencia disponible para el móvil está limitada, no se puede utilizar una modulación de mayor orden como lo es 8 PSK Phase Shift Keying (Modulación por Desplazamiento de Fase). Al mismo tiempo no se puede utilizar la modulación QPSK Quadrature Phase Shift Keying (Modulación por Desplazamiento de Fase en Cuadratura) debido a la dificultad de los requerimientos de filtrado que limitan las pérdidas del canal adyacente. Esto conduce a utilizar una modulación modificada OQPSK Offset Quadrature Phase Shift Keying (Modulación por Desplazamiento Compensado de Fase en Cuadratura) conocida como MSK Minimum Shift Keying (Modulación por Desplazamiento Mínimo).

MSK es una modulación de OQPSK en la cual los pulsos son sinusoidales en lugar de rectangulares, por lo que la MSK puede ser generada y detectada coherentemente como OQPSK con pulsos sinusoidales. Poseyendo una envolvente constante apropiada que permite al amplificador de potencia trabajar

---

---

en saturación sin ninguna distorsión significativa. La MSK es también un caso especial de la modulación coherente FSK Frequency Shift Keying (Modulación por Desplazamiento de Frecuencia), conocida como FFSK Fast Frequency Shift Keying (Modulación Rápida por Desplazamiento de Frecuencia), en donde el espaciamiento mínimo entre tonos altos y bajos es de  $0.5 \times$  la velocidad de datos.

#### ▪ **Modulación GMSK.**

Como se dijo antes, MSK es un acondicionamiento sobre QPSK (en términos de salida de la banda de potencia) debido a que ésta hace un cambio lineal de fase y se limita a  $\pi/2$  sobre un intervalo de bit. Un lóbulo lateral bajo en la potencia de salida de la densidad del espectro representa el efecto de este cambio lineal de fase. El lóbulo principal es más ancho que los casos QPSK/ OQPSK como se muestra en la Figura 1.12. Un lóbulo lateral bajo, ayuda definitivamente al control de interferencia de canal adyacente. Tanto el nivel de potencia del lóbulo lateral como el ancho del lóbulo principal pueden reducirse con la introducción de un filtro de banda base de forma Gaussiana sobre los pulsos rectangulares antes de la modulación. Éste controla la cantidad de ISI y también reduce la fase discontinua en la portadora. Como resultado, se incrementa la salida del lóbulo principal en la densidad espectral del transmisor y se reduce el nivel del lóbulo lateral.

Figura 1.11 Diagrama I/Q de GMSK

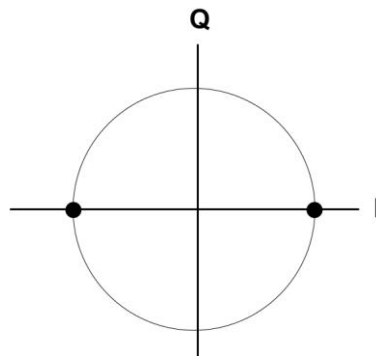
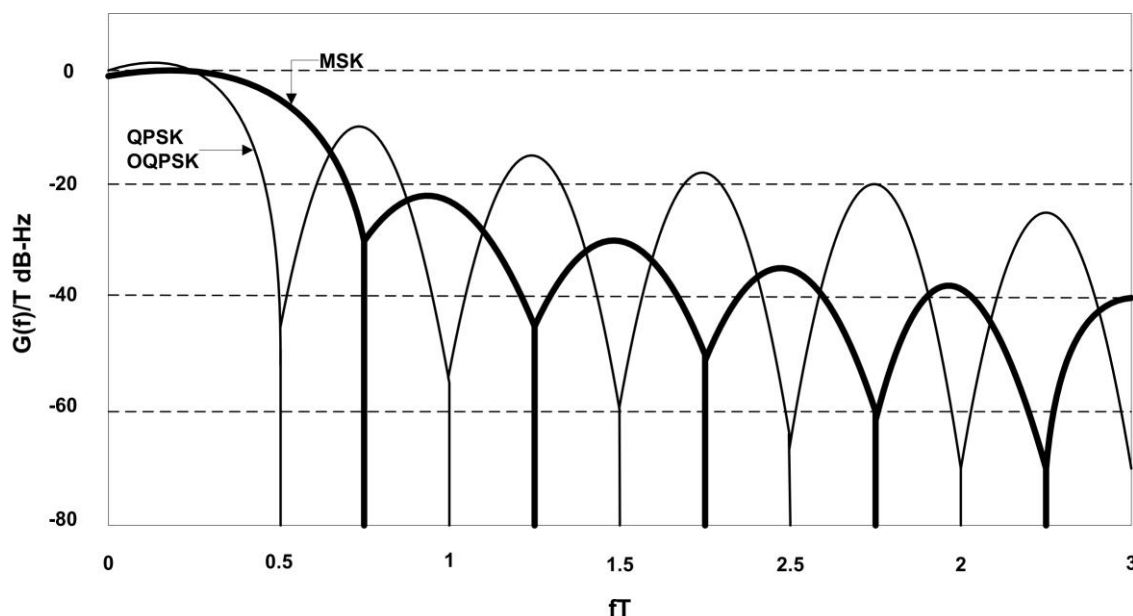


Figura 1.12 Densidad espectral de QPSK, OQPSK y MSK.



#### 1.4.6 Requerimientos en el retraso de la señal

El retraso es dependiente de la magnitud de la señal que retorna y la cantidad de retraso involucrada. En conexiones cortas, el retraso es lo suficientemente pequeño para que el eco aparezca como un tono lateral y el hablante lo sienta como un acople natural al oído. Así como el retraso en el tiempo de viaje se incrementa, la atenuación de los ecos es necesaria para reducir las molestias a las personas que conversan. Se requiere esto, debido a que un retraso demasiado prolongado entre un suscriptor que llama y el que recibe produce disturbios durante el flujo de la conversación. Por esta razón, se han impuesto requerimientos para el retraso en la red GSM a través de los siguientes elementos:

- Retraso algorítmico de codificación de voz < 20ms: conocido como el retraso del codificador de transmisión y posee un intervalo de tiempo entre el instante que ha sido recibida una trama de voz de 160 muestras en la entrada del encoder y el instante en que es reconstruida la trama de voz de

160 muestras que han sido puestas a la salida del encoder en un rango de muestreo de 8KHz.

- Retraso de entre-tramado  $< 37\text{ms}$ : con la duración de una trama de  $4.6\text{ms}$ , el total del retraso por entre-tramado es de  $37\text{ms}$  ( $4.615\text{ bits}$  por el factor de entre-tramado de 8).
- Procesamiento del retraso  $< 8\text{ms}$ : un requerimiento básico del terminal móvil es el bajo consumo de potencia. Por tanto, se requiere establecer un compromiso entre el consumo de potencia y la velocidad de procesamiento. Por lo que el valor de retraso de  $8\text{ms}$  es simplemente para satisfacer los requerimientos de consumo de potencia que permiten el manejo de la unidad móvil sin retrasos excesivos.
- Otro retraso en el sub-sistema de radio  $< 15\text{ms}$ : acá, se asume un retraso misceláneo de  $15\text{ms}$  debido al trayecto de radio.
- Retraso total  $< 70\text{ms}$  hasta  $80\text{ms}$ .

#### **1.4.7 Transmisión discontinua**

La capacidad de un sistema de radio celular está determinada por el nivel de interferencia co-canal. Una forma efectiva de reducir la interferencia co-canal es el de cambiar a modo apagado el transmisor cuando no hay presencia de voz. Este modo de operación es conocido como DTX. En una conversación normal, cada persona habla, en promedio, menos del 40% del tiempo. Los sistemas celulares están diseñados para tomar ventaja del DTX en donde la capacidad del sistema podría ser hasta el doble. Como resultado del apagado conmutado del transmisor, el requerimiento de potencia total de la MS se reduce. Para tomar ventaja del DTX, los diseñadores de sistemas han encontrado algunos problemas potenciales sobre la optimización del sistema, éstos incluyen los siguientes:

- Reducción del tiempo de transmisión del radio.
-

- 
- Reducción leve de la calidad de voz (debido al filtrado).
  - No incrementar los costos.

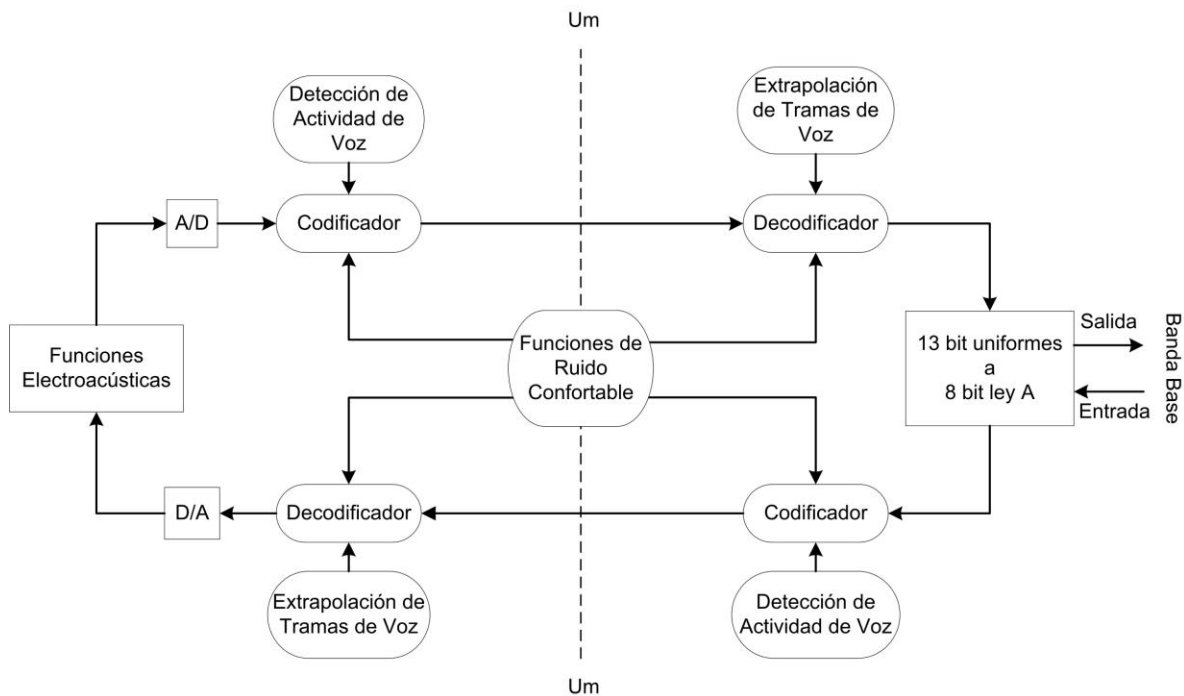
El proceso de solucionarlos simultáneamente, comienza con la detección de voz en la parte final del transmisor y la sustitución natural del ruido durante el período de silencio. Con el fin de minimizar la transmisión de radio, el ruido debe ser distinguido de la trama de voz, lo cual sólo se puede lograr tomando en consideración las características espectrales de la señal de entrada. Haciendo que el ruido de fondo sea estacionario sobre períodos relativamente largos comparando las características del espectro de voz con el ruido de trama a trama. Luego, será posible detectar la presencia de voz a través de las desviaciones de las características del espectro del ruido de fondo.

La detección de voz se realiza en el final del transmisor por un VAD Voice Activity Detection (Detector de Actividad de Voz), el cual distingue entre la voz superpuesta en un ambiente de ruido y el ruido sin voz que se hace presente. La salida del VAD es utilizada para el control de la conmutación del transmisor. Si el VAD falla en la detección de cada evento de voz, luego la voz transmitida será degradada debido a los recortes. Por otra parte, si el VAD identifica ruido regularmente en la voz, entonces la efectividad del DTX se ve disminuida. Ambos casos resultan en un desempeño pobre. En la parte del receptor, el ruido acústico de fondo desaparece abruptamente cuando el radio que transmite se conmuta a apagado. Ya que la conmutación toma lugar rápidamente, durante las palabras o entre ellas, se ha encontrado que este ruido de modulación puede ser muy molesto para la MS. En casos verdaderamente malos el ruido de modulación reduce grandemente la inteligibilidad de la conversación. Este problema se puede superar a través de la generación en el receptor de una señal sintética conocida como «ruido de comfort» insertado en el receptor siempre que el transmisor se conmute a apagado.

---

El diagrama de bloque de las funciones de un procesador de voz se muestra en la Figura 1.13.

Figura 1.13 Funciones del Procesamiento de Voz.



#### 1.4.8 Movilidad asistida por Handover

El handover es el proceso en donde el sistema celular redirecciona el trayecto de radio MS/BS desde una BS hacia otra, de esa forma afecta la transferencia de la MS desde una célula hacia otra. La MS deberá resintonizar su frecuencia de canal así como cambie de células. Los objetivos son los de alcanzar estos procesos sin el conocimiento del usuario y una vez que se ha realizado el handover, para prevenir que el móvil sea puesto en handover nuevamente.

Existen cuatro propósitos para el handover:

- Mantener un nivel de alta calidad en la señal.

- 
- Recuperarse de una interferencia co-canal.
  - Balanceo de tráfico entre células.
  - Recuperar un canal de control en caso de falla.

El handover es el cambio forzado de célula debido a que la llamada podría perderse sino se cambia de célula, este es el propósito más común del handover. Otro propósito es el de reducir la interferencia que una llamada en una célula está causando a llamadas en otras células y otro propósito es el de facilitar la descongestión de tráfico a través del cambio de algunas llamadas en una célula congestionada a células con menor congestión. La calidad de la señal se refiere a la razón mínima requerida entre portadora e interferencia C/I. Para un sistema de handover de alta calidad se debe tomar en cuenta lo siguiente:

- El handover debe realizarse antes de que ocurra una notificación de degradación en la calidad de la señal en el MT.
- Antes de una decisión de handover, la señal recibida en el móvil debe ser integrada con suficiente tiempo para asegurarse que la degradación de la calidad es real y no es debida a un desvanecimiento por multi-trayecto.
- El nuevo canal al cual será conmutado el móvil debería poseer un nivel suficientemente alto (alta relación S/N) para que éste canal no sea conmutado inmediatamente.

### **1.4.9 Tecnología GPRS**

La transmisión de datos por paquetes ha sido estandarizada en la fase 2<sup>24</sup> de GSM, ofreciendo acceso a las PSPDN Packet Switched Public Data Network (Red

---

<sup>24</sup> Las especificaciones para GSM están agrupadas en "Versiones". Las especificaciones originales fueron publicadas por ETSI en 1994 y ahora son conocidas como "Fase 1". Las siguientes

---

---

Pública de Datos Conmutados por Paquetes). Sin embargo, en la interfaz aérea este acceso utiliza un canal completo conmutado por circuitos para el período entero de la llamada. En el caso de tráfico por ráfagas (por ejemplo: tráfico de Internet), el acceso conduce a una alta ineficiencia en el uso de recursos. Los servicios portadores de conmutación de paquetes resultan en una mejor utilización de los canales de tráfico. Esto se debe a que el canal de paquetes será utilizado únicamente cuando se necesite y será liberado después de la transmisión de los paquetes. Con este principio, múltiples usuarios pueden compartir un canal físico (multiplexación estática).

El sistema GPRS ofrece un servicio portador por conmutación de paquetes genuino para GSM en la interfaz aérea. De esa forma GPRS mejora altamente y simplifica el acceso inalámbrico a las redes de datos por paquetes. Las redes basadas en IP (por ejemplo, la Internet o intranets corporativas y privadas) y las redes X.25 también son soportadas. Con el fin de introducir GPRS a las redes GSM existentes, se tuvieron que realizar muchas modificaciones y mejoras en la infraestructura de la red, así como en las MS.

GPRS utiliza una técnica en modo paquete para transferir datos de alta o baja velocidad y señalización de una forma eficiente. GPRS optimiza el uso de la red de radio y sus recursos. La estricta separación entre el sub-sistema de radio y el sub-sistema de red se mantiene, permitiendo que el sub-sistema de red sea reutilizado con otras tecnologías de acceso a radio.

Los canales de radio GPRS están definidos y la localización de estos canales es flexible: pueden estar localizados desde el primer hasta el octavo timeslot de la interfaz de radio de una trama TDMA, los timeslots son compartidos por los usuarios activos dinámicamente entre los servicios de voz y datos como una función del servicio de carga y la preferencia del operador. Varios esquemas de codificación para los canales de radio están especificados para permitir



---

velocidades de bit desde 9 a más de 150 Kbps por usuario. Los esquemas de codificación se detallan en la Tabla 1.4.

Tabla 1.4 Esquemas de codificación de GPRS

<b>Esquema de codificación</b>	<b>CS-1</b>	<b>CS-2</b>	<b>CS-3</b>	<b>CS-4</b>
Velocidad de Datos	9.05 Kbps	13.4Kbps	15.6Kbps	21.4Kbps
Máx. velocidad con 8 canales	72.4Kbps	107.2Kbps	124.8Kbps	171.2Kbps
Máx. número de bits de datos	160	240	288	400
Rango de codificación	1/2	2/3	3/4	1

GPRS está diseñado para soportar desde transferencias de datos intermitentes o en ráfagas hasta transmisiones ocasionales de grandes volúmenes de datos. Soporta cuatro diferentes niveles de QoS. GPRS está diseñado para una rápida reservación en el comienzo de la transmisión de paquetes, desde 0.5 a 1 segundo. El cobro puede basarse generalmente en la cantidad de datos transmitidos.

Se pueden soportar tres tipos distintos de GPRS desde la MS que son:

- Una MS clase A puede operar GPRS y otros servicios GSM simultáneamente.
- Una MS clase B puede monitorear los canales de control para GPRS y otros servicios GSM simultáneamente.
- Una MS clase C GPRS puede operar exclusivamente en servicios GPRS.

Los datos de los usuarios son transferidos de manera transparente entre la MS y las redes de datos externas con un método conocido como «encapsulación y

---

túnel», en donde los datos por paquetes están equipados con un protocolo de información específico de GPRS y transferidos entre la MS y el GGSN.

## **1.5 PROTOCOLOS DE GSM**

Utilizando el modelo OSI<sup>25</sup> Open System Interconnection (Sistema Abierto de Interconexión), el sistema GSM puede ser descrito considerando varias capas funcionales arregladas de una forma jerárquica. Éste consiste de una capa física, una capa de enlace de datos y la capa denominada «capa 3».

Las funciones de la capa 3 están diseñadas como la capa de aplicación y no debe confundirse con las funciones de la capa 3 del modelo OSI.

La capa de aplicación se compone de tres sub-capas que son: RR Radio Resource (Recursos de Radio), MM Movility Management (Gestión de Movilidad) y CM Call Management (Administración de Llamada). La sub-capa RR junto con la capa de enlace de datos y la capa física proporcionan el medio para las conexiones de radio punto a punto en la cual se llevan los mensajes MM y CM.

La señalización de los protocolos se muestra en la Figura 1.14.

### **1.5.1 Protocolos de Capa Física**

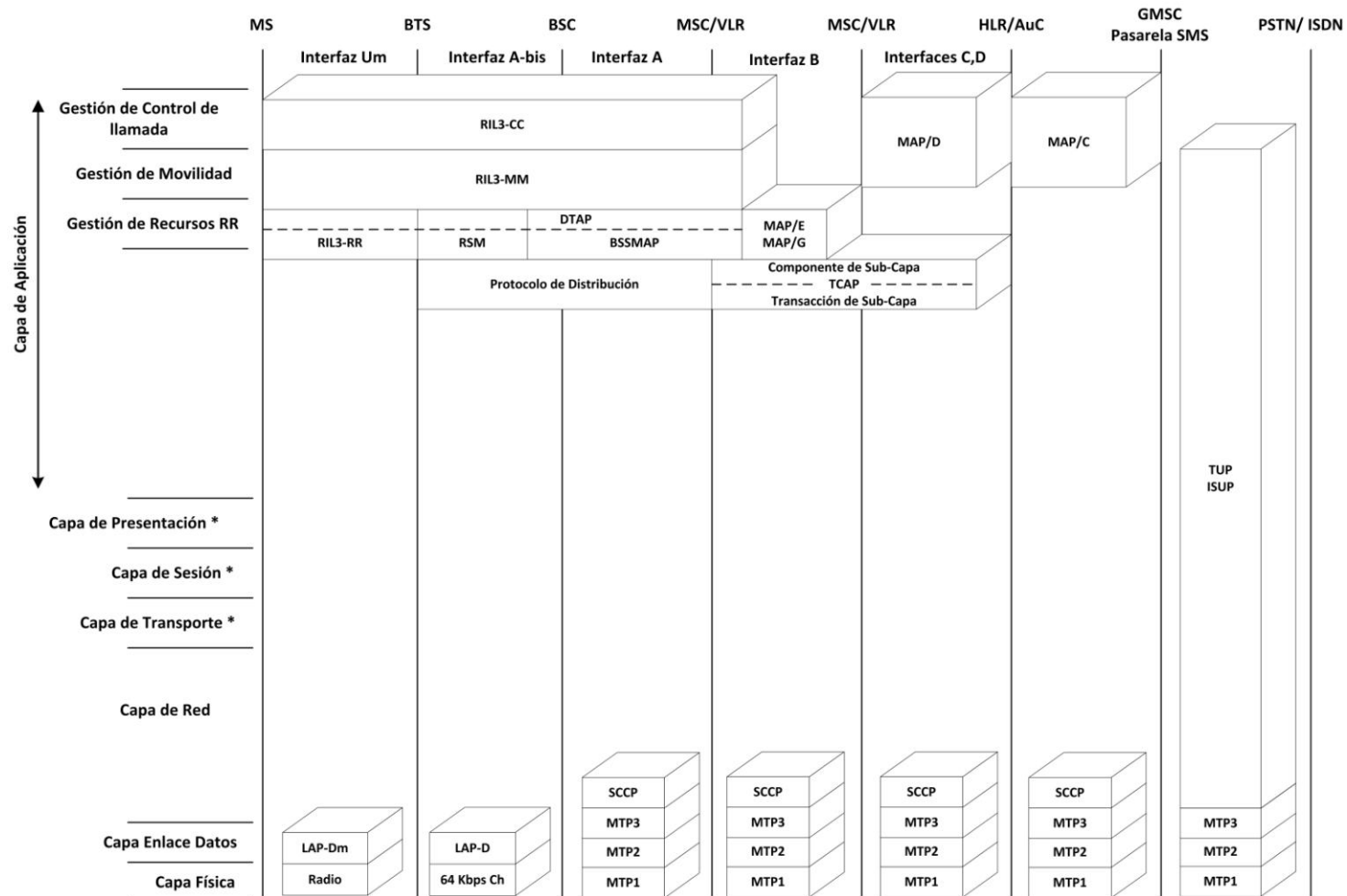
La capa física es la capa más baja de la arquitectura de protocolos y representa las funciones necesarias para transferir cadenas de bits sobre el medio físico. Esto incluye funciones como la codificación y decodificación del canal, modulación y demodulación, ecualización, esquema de acceso TDMA y características del canal de transmisión de radio.

---

<sup>25</sup> En el Anexo B se detalla el modelo de referencia OSI.

---

Figura 1.14 Protocolos de señalización del sistema GSM.



\* Capas del estándar OSI que no se aplican al sistema GSM

---

En donde:

LAP-Dm = Protocolo de Acceso de Enlace para el Canal Dm

LAP-D = Protocolo de Acceso de Enlace para canal D

MTP = Parte de Transferencia de Mensaje.

SCCP = Conexión de Señalización de la Parte de Control.

TCAP = Capacidades de Transacción de la Parte de Aplicación

TUP = Parte de Usuario para Telefonía

ISUP = Parte de Usuario para ISDN

RSM = Gestión del Sub-Sistema de Radio

DTAP = Transferencia Directa de la Parte de Aplicación.

BSSMAP = Parte de Aplicación del Móvil para BSS.

RIL3 = Interfaz de Radio Capa 3.

---

Las funciones de control como el control de potencia, monitoreo del enlace y la diversidad son aplicados en este nivel para mejorar el desempeño del sistema en el nivel físico. Los canales físicos son compartidos entre muchos usuarios y están localizados para ellos en una base temporal. Un requerimiento para el canal físico es el de tener una alta eficiencia del espectro, el cual a su vez requiere que la capacidad del canal y el tiempo de espera sean reducidos.

La capa física es la responsable de la transmisión de ceros y unos lógicos en el medio y siempre contiene especificaciones con respecto al tamaño y la forma de los pulsos. Las velocidades de adaptación se proporcionan para los diferentes canales funcionales que son más bajas que las velocidades de bit del ISDN. Existen dos tipos de canales de comunicación en GSM, el de tráfico y el de señalización.

---

---

### 1.5.2 Protocolos de Capa de Enlace

El principal propósito del protocolo de la capa de enlace es la de proveer conexiones de enlace para intercambiar señalización entre las diferentes entidades de red como: MS, BTS, BSC, MSC, VLR, HLR y SS7. En GSM se utilizan tres tipos de protocolos de capa de enlace:

- LAPDm Link Access Protocol on the Dm Channel (Protocolo de Acceso al Enlace para el Canal Dm) sobre la interfaz aérea.
- LAPD Link Access Protocol on the D Channel (Protocolo de Acceso al Enlace para el Canal D) sobre la interfaz A-bis.
- MTP-2 Message Transfer Part (Parte de Transferencia de Mensajes).

Los protocolos LAPDm entre el usuario móvil, la BTS y LAPD utilizados en la BSS son similares a los protocolos para ISDN. Sin embargo, el LAPDm toma ventajas de la transacción sincronizada para evitar el uso de banderas y así mismo incrementar la velocidad de operación y protección contra errores. El protocolo MTP utiliza funciones estándar de ISDN. Por otra parte, el enlace terrestre para conectar la BSS a la MSC a través de la interfaz A utiliza el SS7 para proporcionar funciones de la capa de enlace del modelo OSI. Esta capa alcanza el transporte confiable de la señalización de datos debido a la detección de errores y la recuperación de errores.

Las funciones detalladas del protocolo LAPDm se detallan a continuación:

- Establecer y liberar las conexiones de señalización de la capa de enlace.
  - Multiplexación y demultiplexación de varias conexiones de señalización sobre un canal de control dedicado y la discriminación entre éstos a través de la inclusión de diferentes SAPI Service Access Point Indicator (Identificadores de Puntos de Acceso de Servicio).
-

- Mapear la señalización de las unidades de servicio de datos sobre las unidades de protocolo de datos.
- Enumerar las unidades de protocolo de datos módulo 8 para mantener el orden secuencial.
- Detección y recuperación de errores debido a pérdidas, duplicación e irregularidades.

### **1.5.3 Protocolos MTP3, SCCP y TCAP**

Todos los componentes de red están conectados por enlaces de señalización SS7 utilizando funciones MTP y SCCP Signaling Connection Control Part (Conexión de Señalización de la Parte de Control) y parte de las funciones de las capacidades de TCAP Transaction Capabilities Application Part (Transacción de la Parte de Aplicación).

La función de la capa de enlace es proporcionada a través del MTP y la conexión de multiplexación se alcanza utilizando el SCCP en el modo orientado a la conexión.

El MTP de SS7 es utilizado sobre la interfaz BS hacia el MSC para proporcionar un servicio de enlace de datos confiable. El MTP es el intercambio de información de la capa básica conformada de tres sub-capas: MTP nivel 1 y 2 (MTP 1, MTP 2) proporcionando el medio para el intercambio de mensajes protegidos entre los nodos adyacentes de la red de señalización, mientras que el nivel 3 (MTP 3) está conformado por funciones para direccionamiento de mensajes también como para la operación y mantenimiento de la red.

El SCCP proporciona información de direccionamiento y ruteo para la transferencia de datos entre las aplicaciones de software operando junto con las capacidades de señalización de la red. El SCCP se suma a la capa de red de MTP para mantener en línea al SS7 con el modelo OSI.

---

---

El TCAP proporciona un conjunto de procedimientos de petición/respuesta que son utilizados para obtener un servicio que ha sido solicitado. Los diálogos son estructurados por el TCAP, el cual es un elemento de servicio de una aplicación particular utilizada para soportar varias transacciones de aplicaciones en SS7. El propósito de TCAP es el de proveer un sistema común y general para la transferencia de información entre dos nodos. Éste soporta una amplia variedad de aplicaciones y es muy útil para los intercambios de señalización en una red de telecomunicaciones.

#### **1.5.4 Protocolos de Capa de Aplicación**

La capa de aplicación del modelo OSI corresponde con la capa 3 del protocolo GSM y se compone de tres sub-capas:

- **Sub-capa RR (Recursos de Radio)**

Las funciones y protocolos de la sub-capa RR están relacionados a un concepto común que puede ser explicado de mejor forma a través de un acercamiento orientado a objetos. La gestión de las conexiones RR trata con los medios de establecimiento, mantenimiento, modificación y liberación de los medios básicos de comunicación sobre la interfaz de radio a través del sub-sistema de radio. La sub-capa RR puede ser considerada como la conformación de tres protocolos principales, los cuales son:

- El protocolo BSC, permitiendo a la BSC controlar las acciones de la MS como la localización, liberación y roaming del canal.
  - El protocolo BTS-BSC, permitiendo a la BSC el control de la BTS.
  - El protocolo BSC-MSC, permitiendo a la MSC y a la BSC intercambiar los datos necesarios para configuración, control y liberación de las conexiones de la interfaz A.
-

### ▪ **Sub-capa MM (Gestión de Movilidad)**

La sub-capa de gestión de movilidad está principalmente referida con las funciones de: localización, registro y seguridad. Otra función de la sub-capa MM es la de proveer servicios de gestión de conexiones a la sub-capa superior CM. Se basa en como el procedimiento es activado. Se puede categorizar la sub-capa MM dentro de tres grupos:

- Procedimientos comunes MM: siempre pueden ser iniciados mientras la conexión RR exista. Los procedimientos pertenecientes a este grupo e iniciados por la red son los procedimientos de relocalización TMSI, autenticación, identificación y de cancelación.
- Procedimientos específicos MM: éste sólo puede ser iniciado si no existe otro procedimiento específico MM o no existe conexión entre la red y la MS. Si este procedimiento se activa, la petición de CM para una conexión activa MM será también rechazada o retrasada hasta que sea terminado el procedimiento específico. Los procedimientos pertenecientes a esta clase son los de actualización de localización normal, actualización periódica y el de adjuntar/quitar el IMSI.
- Procedimientos de gestión de conexiones MM: estos procedimientos son utilizados para establecer, mantener y liberar la conexión MM entre la MS y la red sobre la cual una entidad de la sub-capa CM superior puede intercambiar información con su misma sub-capa. Esta conexión puede ser realizada sino existe una conexión de procedimiento específico.

### ▪ **Sub-capa CM (Administración de Llamada)**

La sub-capa de administración de llamada incluye varias entidades de protocolo, por ejemplo, el CC Call Control (Control de Llamada), SS Supplementary Service (Servicio Suplementario) y SMS. La entidad CC incluye las funciones de control

---



---

definidas por la red de señalización ISDN. Todos los mensajes y procedimientos requeridos para el establecimiento de la llamada, limpiar la llamada, información de llamada y algunos otros procedimientos misceláneos están cubiertos por esta entidad. Ésta cubre los siguientes procedimientos:

- Establecimiento de llamada desde el móvil de origen.
- Establecimiento de llamada desde el móvil destino.
- Procedimiento de señalización durante el estado activo, el cual incluye la notificación del usuario, re-arreglo de llamada, procedimiento de protocolo DTMF y modificación durante la llamada.
- Limpiar la llamada iniciada a través de la red.
- Limpiar la llamada iniciada a través del móvil.
- Procedimientos misceláneos incluyendo los tonos en la banda, anuncios y procedimientos de investigación de estado.

### **1.5.5 Protocolo BSSAP.**

El protocolo MTP y el SCCP son utilizados para soportar mensajes de señalización entre la MSC y la BSS. Una función de usuario del SCCP es el BSSAP BSS Application Part (Parte de Aplicación de la BSS), el cual utiliza una conexión de señalización por cada MS activa, la cual posee una o múltiples transacciones para la transferencia de los mensajes capa 3.

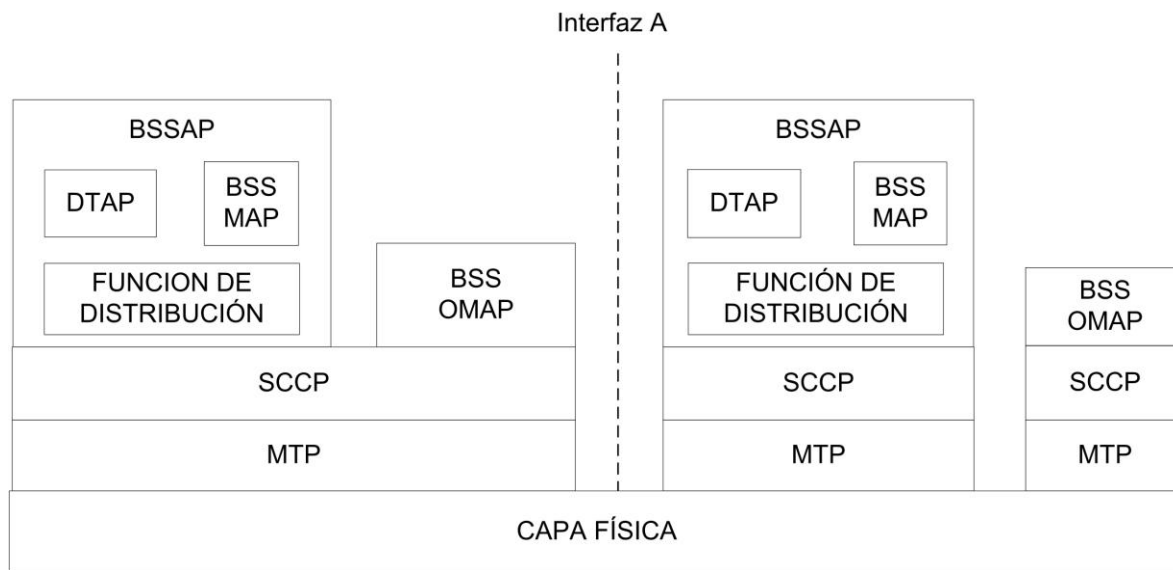
La Figura 1.15 proporciona la relación jerárquica del BSSAP en el sistema GSM en base al estándar ETS 300 587-2. El BSSAP está dividido en dos funciones: la DTAP Direct Transfer Application Part (Parte de Aplicación de Transferencia Directa) y el BSSMAP.

El protocolo DTAP es utilizado por la BSS para transferir mensajes capa 3 entre la MS y el MSC sin interpretar el mensaje en el BSS. En este sentido, el BSS es

---

transparente para el proceso DTAP. El BSSMAP es el proceso junto con la BSS (interfase A-bis) que controla los RR en respuesta a las instrucciones desde el MSC. El BSSMAP es utilizado en la asignación y conmutación del RR tanto para la configuración de la llamada como para el roaming. Ambos procedimientos orientados a la conexión y no conexión son utilizados para el soporte BSSMAP.

Figura 1.15 Relación jerárquica de BSSAP en el Sistema GSM

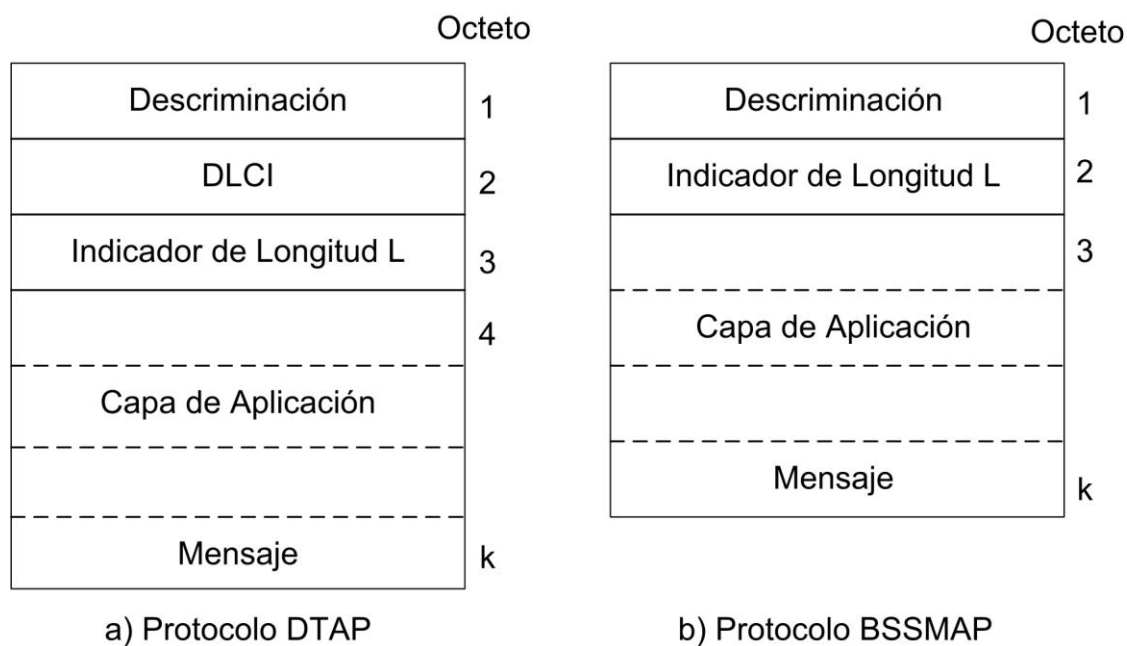


### 1.5.6 Protocolo MAP

El protocolo MAP Mobile Application Part (Parte de Aplicación del Móvil) es visto como un acceso remoto de base de datos, caracterizado por el intercambio de mensajes que están agrupados dentro de diálogos simples, la mayoría en la forma de peticiones y respuestas. En el modelo OSI el MAP reside por encima del protocolo TCAP. El MAP sólo utiliza la clase no orientado a la conexión del protocolo SCCP. El protocolo está diseñado para interactuar con la MSC, VLR/HLR, AuC y el GMSC para que ellos puedan comunicarse entre sí. El MAP inicia diferentes operaciones y acepta el retorno de resultados o el retorno de los errores

específicos de una aplicación. El MAP contiene un número de bloques funcionales conocidos como ASE Application System Element (Elementos del Sistema de Aplicación), los cuales son utilizados para la comunicación entre dos nodos punto a punto como se muestra en la Figura 1.16. Todos los mensajes contienen parámetros tanto mandatorios como aplicación opcional. Las funciones pueden ser agrupadas en dos categorías llamadas: gestión de la movilidad y soporte de servicios básicos.

Figura 1.16 Estructura de: a) Protocolo DATP y b) Protocolo BSSMAP



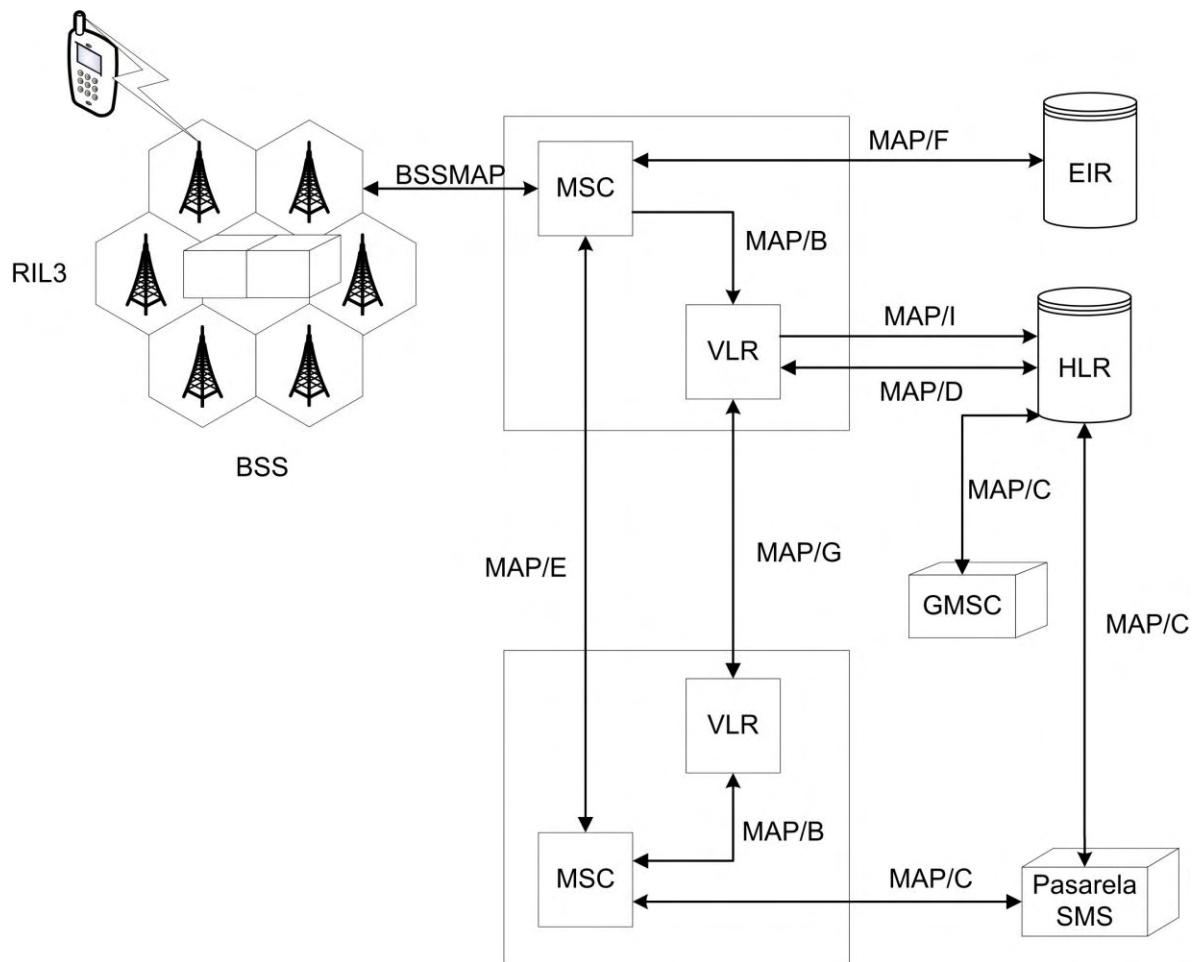
#### ▪ Protocolos MAP para la Gestión de Movilidad (MM)

La gestión de movilidad está constituida por cuatro procedimientos diferentes:

- Localización de registro: este procedimiento actualiza la información del LA donde el móvil está haciendo roaming. Cuando el suscriptor llega a la nueva área VLR, el HLR es informado acerca de la dirección de su nueva

VLR donde el suscriptor puede ser subsecuentemente localizado. El HLR actualiza los datos del suscriptor con respecto a su nueva localización. Este servicio es iniciado por el «MAP de Actualización de Localización», el cual consiste de servicios primitivos mandatorios y algunos parámetros opcionales y utiliza el protocolo MAP/I que se muestra en la Figura 1.17.

Figura 1.17 Conexiones del protocolo MAP.



- Cancelación de Localización: el usuario es nuevamente conectado con el registro de localización. Cuando un suscriptor pasa a una nueva área VLR

---

de localización, el HLR es actualizado con respecto a su nueva localización como se ha descrito, y correspondientemente el antiguo VLR es informado por el proceso de cancelación de localización y el borrado de los datos con respecto al suscriptor. Este servicio puede ser invocado automáticamente por el «MAP de Cancelación de localización» que consiste de varios parámetros mandatorios y primitivos opcionales. Utiliza el protocolo MAP/I.

- Actualización del área de Localización: este servicio es utilizado entre la MSC y el VLR para actualizar la información de localización en la red. Éste es iniciado por una MS cuando está cambiando su área de localización o cuando está registrándose por primera vez. Este servicio es iniciado por un «MAP de Actualización del área de localización» y consiste de varios parámetros mandatorios y opcionales. Éste utiliza el protocolo MAP/B.
- Desregistro de la MS: una MS puede «desregistrarse» opcionalmente en la VLR cuando comienza a ser conmutado. Esta información es almacenada en la VLR y es utilizada durante la terminación de configuración de llamada del móvil para rechazar la llamada sin ser localizado.
- Servicio de Identificación: el MAP de Envío de Identificación de servicio es utilizado entre el VLR y un VLR previo para almacenar el IMSI y la autenticación establecidas para un suscriptor recientemente registrado en el VLR. El protocolo MAP/G es utilizado para este servicio.

#### ▪ **Protocolos MAP para el Soporte de Servicios Básicos.**

El soporte de servicios básicos comprende el almacenamiento de los datos del suscriptor durante la configuración de una llamada. Los servicios pueden ser: los datos conectados con el servicio o las capacidades del terminal, localización del suscriptor para las llamadas del móvil destino, iniciación de los procedimientos de seguridad en el acceso de la MS y el control sobre una comunicación existente hacia diferentes MSC.

---

### 1.5.7 Señalización por SS7 entre la GMSC y las Redes Fijas.

La Señalización por Canal Común (SS7) es utilizada como medio de transmisión de datos para diferentes tipos de usuarios, así como los usuarios de telefonía e ISDN. Por tanto, el sistema puede dividirse en dos partes: la UP User Part (Parte de Usuario) que incluye la TUP Telephone User Part (Parte de Usuario para Telefonía) e ISUP ISDN User Part (Parte de Usuario para ISDN) y una parte de transferencia de mensajes comunes (MTP: MTP1, MTP2 y MTP3). Solamente las partes de usuario del mismo tipo son compatibles para la comunicación entre cada uno. Los mensajes son transportados entre los nodos 1 y 2 utilizando MTP como un medio de transporte común. Utilizando el modelo OSI el MTP representa las capas OSI 1, 2 y 3 y la UP representa las capas 4 y superiores del modelo OSI.

Los usuarios generan los mensajes de datos en la capa 4 y los envían hacia la capa 3 MTP en donde el SIO Service Information Octet (Octeto<sup>26</sup> de Servicio de Información) es agregado para indicar cuando el mensaje es de gestión de señalización de la red o cuando un mensaje proviene de diferentes usuarios como TUP o ISUP. El MTP 2 es el responsable de la transmisión confiable y por ello éste agrega una bandera para delimitar los mensajes, un Check Sum para la detección de errores, un LI Length Indicator (Indicador de Longitud) para el mensaje (la longitud del mensaje 3 combinado SIF Signaling Information Field (Campo de Información de Señalización)+ SIO) y la corrección de errores de bits (CORR).

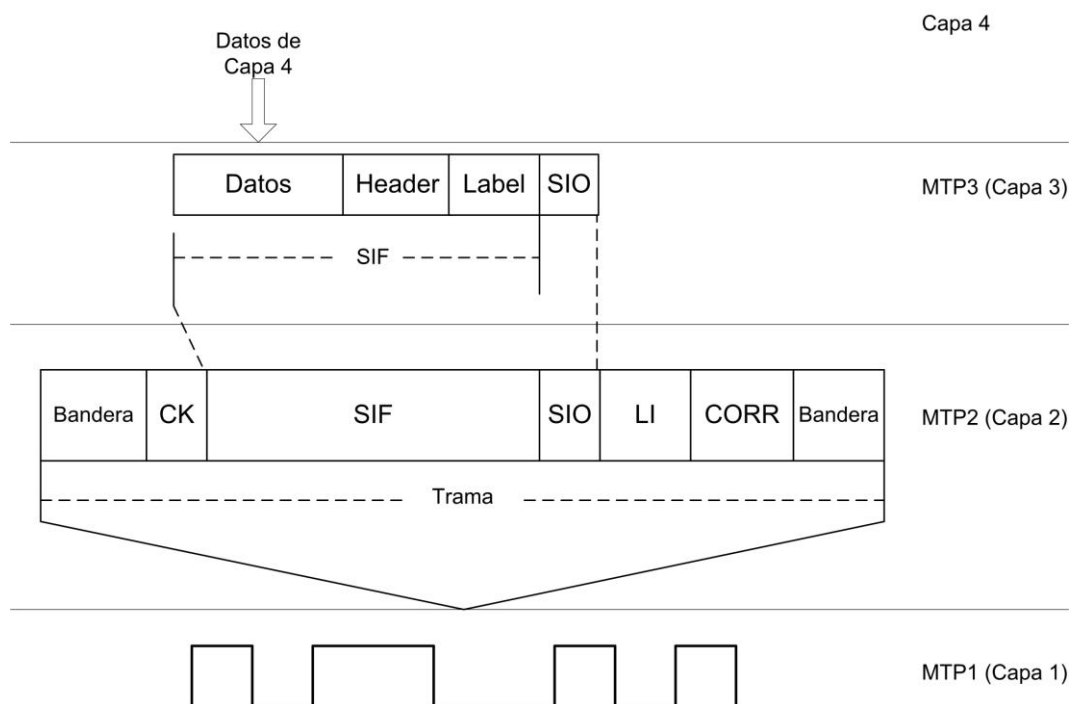
El mensaje formado en el MTP2 es enviado hacia el MTP1 en donde los bits son convertidos en el nivel y forma apropiada para su transmisión a través del medio. La trama de usuario se muestra en la Figura 1.18.

---

<sup>26</sup> Un octeto está conformado por ocho bits.

---

Figura 1.18 Formación de la trama de usuario y transmisión sobre la Red SS7.



## 1.6 SERVICIOS PROPORCIONADOS POR GSM

Los servicios de telecomunicaciones soportados por una PLMN GSM/GPRS se definen en el ETS 300 500 como las capacidades de comunicación que un operador de red pone a disposición de sus clientes, los suscriptores móviles. Una PLMN GSM/GPRS proporciona en cooperación con otras redes, un conjunto de capacidades de red que se definen por protocolos y funciones normalizadas que permiten que los servicios de telecomunicaciones puedan ser ofrecidos a los clientes. Los servicios se clasifican en tres grupos:

- Teleservicios
- Servicios portadores
- Servicios suplementarios<sup>27</sup>.

<sup>27</sup> También conocidos como "Servicios de valor agregado".

### **1.6.1 Teleservicios**

Los teleservicios abarcan la telefonía de voz, llamadas de emergencia y mensajes de voz. El servicio de telefonía permite las llamadas bidireccionales entre los usuarios de GSM y cualquier suscriptor que pueda ser alcanzado a través de una red general de telefonía. En base a la terminología oficial de GSM, las llamadas de emergencia son un servicio distinto derivado de la telefonía, permitiendo al usuario de una MS alcanzar un servicio de emergencia cercano como la policía o los bomberos a través de un procedimiento simple, como lo es, el marcado de un código específico. En El Salvador los códigos establecidos son 911 y 122.

Otro servicio derivado de la telefonía es el mensaje de voz. Este servicio permite que los mensajes de voz sean almacenados y posteriormente recibidos por el receptor, ya sea porque el suscriptor llamado no es alcanzable por la red o porque el usuario que llama ha seleccionado el buzón de voz del suscriptor directamente.

En la tabla 2 del ETS300502 (GSM 02.03) se muestran las categorías en las que han sido normalizados los teleservicios y en el anexo A del mismo estándar se detalla la información de cada teleservicio.

### **1.6.2 Servicios Portadores**

El ETS300501 los define como aquellos que proveen la capacidad de transmitir información entre puntos de acceso<sup>28</sup> de la red GSM, entre un punto de acceso y una terminación de red. Se caracterizan por un conjunto de atributos los cuales se clasifican en cuatro categorías:

- Atributo de transferencia de información.
- Atributos de acceso.
- Atributos de interworking.

---

<sup>28</sup> En ISDN, son llamados interfaces usuario-red, en el sistema GSM se utiliza para hacer referencia a la interfaz usuario-terminal.

---



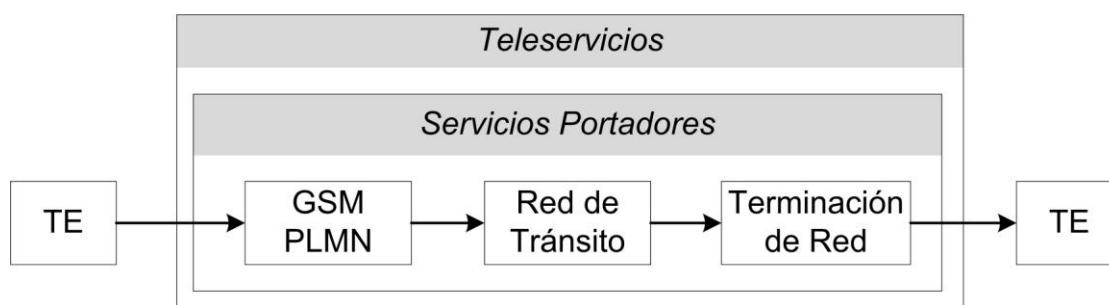
- 
- Atributos generales (incluyen los atributos de operación y comercialización).

La portabilidad define las características técnicas de un servicio portador y ofrece al usuario la posibilidad de acceder a diversas formas de comunicación, por ejemplo:

- Transferencia de información entre un usuario en una PLMN y un usuario en una terminación de red, incluyendo el mismo PLMN, otro PLMN y otros tipos de PLMN.
- Transferencia de información entre un usuario en una PLMN y recursos separados que proveen las funciones de las capas superiores del modelo OSI.

La Figura 1.19 muestra el alcance de los teleservicios y los servicios portadores en una red GSM. En la figura se puede apreciar que el usuario únicamente tiene acceso a los teleservicios y que los servicios portadores le sirven al sistema GSM para intercambiar la información necesaria para proporcionar los teleservicios.

Figura 1.19 Teleservicios y servicios portadores soportados por una PLMN.



La red de tránsito es opcional.

---

La tabla 2 del ETS300501 (GSM 02.02) detalla la lista de los servicios portadores y sus valores respectivos.

### **1.6.3 Servicios Suplementarios.**

Los servicios suplementarios son definidos por el ETS300503 como aquellos que modifican o complementan un servicio de telecomunicaciones. En la tabla 4.1 de dicho estándar se encuentra la lista de los servicios suplementarios soportados por PLMN GSM.

## **1.7 CALIDAD DE SERVICIO (QoS)**

### **1.7.1 Calidad de Servicio para GSM**

La QoS de GSM se relaciona con el rendimiento que debe ser empleado en los teleservicios y servicios portadores facilitados a los usuarios. Esto indica la expectativa de rendimiento de la red móvil a ser percibida por el usuario.

El rendimiento de una llamada realizada con una MS, desde el punto de vista del usuario, es función del rendimiento de las redes que en conjunto forman la ruta entre el origen y el destino (otra PLMN o PSTN, ISDN, PDN, etc.). Las llamadas que se realicen dentro de la misma PLMN tendrán el rendimiento que ésta facilite. No puede definirse el rendimiento de una red conectada más allá del alcance de GSM.

La QoS es definida en el estándar GSM 02.08<sup>29</sup> y es aplicable para una estación móvil que se encuentre estática o en movimiento, hasta una velocidad de 250Km/h con la limitante que el retraso por multi trayecto no exceda los 16µs.

---

<sup>29</sup> El estándar se encuentra «congelado» (Withdrawn) y ha sido retirado de ETSI.

---

---

## ▪ Definición de los Parametros de QoS de GSM

Para todos los servicios:

- Tiempo para proveer un servicio: El máximo tiempo desde que la MS es encendida hasta que el usuario este disponible para hacer o recibir llamadas.
  - Porcentaje de éxito de llamada (MO): La probabilidad de que un intento de llamada hecho desde una MS dentro del área de cobertura, en un 90% de los casos, sea completamente señalado a la red llamada dentro del tiempo especificado.
  - Tiempo para conectar una llamada (MO~PLMN): El máximo tiempo desde que se inicia el comando de configuración de llamada hasta que éste es transmitido a la red llamada. Este tiempo puede incluir la autenticación cuando sea requerida.
  - Tiempo para confirmar la instrucción de conexión: El máximo tiempo desde que se inicia el comando de configuración de llamada hasta que éste es aceptado o denegado y reconocido por el usuario, indicándole de esta manera al usuario que la red ha recibido la solicitud.
  - Tiempo para liberar una llamada: El máximo tiempo desde la inicialización del comando de desconexión hasta que éste es transmitido a la red llamada.
  - Porcentaje de éxito de recepción de llamada (MT): La probabilidad de éxito en una llamada a una MS localizada en el área de cobertura, en un 90% de los casos, dentro del tiempo especificado. Este tiempo se basa en que la estación móvil se encuentra encendida y lista para recibir una llamada y que no hay congestión en la red.
  - Tiempo para alertar a la MS: el máximo tiempo desde que la PLMN recibe una llamada para una MS (asumiendo que esta dentro de la cobertura)
-

hasta que la alarma es activada. Este tiempo incluye cualquier retraso causado por la recepción discontinua y/o autenticación (si es requerida).

- Tiempo para invocar o cambiar un servicio suplementario: El máximo tiempo desde la inicialización de una petición de servicio suplementario hasta que este servicio este disponible o se haya cambiado (como una solicitud por el usuario), incluye autenticación si es requerida.
- Duración de interrupción de llamada debido a un Handover: La interrupción total máxima de un canal de tráfico (en cualquier dirección) debido a un Handover.
- Duración de interrupción del tráfico de usuario, señalización en banda: La máxima duración de cualquier interrupción del tráfico usuario a causa de una señalización en banda, excepto por un fallo de traspaso.
- Índice de éxito de Handover: La probabilidad que un handover sea completamente exitoso, dentro del área de cobertura de una PLMN GSM, en un 90% de los casos, bajo condiciones de bajo tráfico sin recurrir al reestablecimiento de la llamada.

Para servicios de telefonía:

- Tiempo máximo de retraso en una vía: El tiempo máximo de retardo en una dirección, medido entre el micrófono/audífono de la estación móvil y el límite de la PLMN.
- Probabilidad de inteligibilidad: La probabilidad que la voz de una llamada dentro del área de cobertura sea comprensible a pesar de la interferencia.

Para servicio de datos:

- BER.
-

- 
- Delay (Retraso).
  - Throughput (Velocidad de transferencia).
  - Área de cobertura.
  - Servicios transparentes.

▪ **Valores de los parámetros de QoS de GSM**

Los valores para los parámetros definidos anteriormente y basados en el estándar GSM 02.08 se encuentran en el Anexo D.

### 1.7.2 Calidad de Servicio para GPRS

La QoS para GPRS se encuentra en la sección 15.2 del estándar ETSI EN 301 344 (GSM 03.60) y los parámetros con su respectiva interpretación se presentan en la Tabla 1.5.

Tabla 1.5 Los parámetros de QoS para GPRS.

Parámetro	Interpretación
Precedencia/Prioridad del servicio	¿Con qué prioridad recibe acceso a los recursos de la red el suscriptor?
Tipo de Retraso	¿Cuál es el tiempo del máximo retraso para la transmisión de datos en la red GSM/GPRS?
Tasa de Velocidad de Transferencia promedio	¿Cuán alta debe ser la velocidad de transferencia promedio en la red GSM/GPRS?
Tasa de la Velocidad de Transferencia pico	¿Cuán alto debe ser el diferencial de la máxima velocidad de transferencia posible en la red GSM/GPRS?

---

---

Tipo de Capacidad de Recuperación	¿Qué protocolos deberían encargarse de la corrección de errores?
-----------------------------------	--

Los valores para los parámetros definidos anteriormente basados en las tablas 12~15 del estándar TS101344 (GSM 03.60) se muestran en el Anexo D.

## 1.8 SEGURIDAD EN GSM

La sección 2 del ETS300506 determina que el uso de radiocomunicaciones para la transmisión a los suscriptores móviles hace que la PLMN sea particularmente sensible en los siguientes aspectos:

- El uso indebido de sus recursos por personas no autorizadas que utilizan o manipulan una MS y suplantando a un suscriptor autorizado.
- Escuchar de manera secreta la información que se intercambia sobre la ruta de radio.

La PLMN intrínsecamente no provee el mismo nivel de protección a sus operadores y suscriptores como lo hacen las redes de telecomunicaciones tradicionales. Este hecho conduce a la necesidad de aplicar características de seguridad en una PLMN GSM a fin de proteger:

- El acceso a los servicios móviles.
- Cualquier dato enviado sobre la ruta de radio, principalmente a fin de garantizar la intimidad de la información relacionada con el usuario.

Se establecen dos niveles de protección:

---

- 
- Cuando las características de seguridad son provistas: el nivel de protección sobre la ruta de radio correspondiente a los datos es tan bueno como el nivel de protección provisto en las redes fijas.
  - Cuando no se hace ninguna disposición especial: el nivel de protección en la ruta de radio es nulo para los datos que se considera que no necesitan protección.

El estándar GSM 12.03, especifica la administración de las características de seguridad que se indican a continuación.

### **1.8.1 Características de Seguridad**

En base a la sección 3 del ETS300506, se definen las siguientes características de seguridad:

- **Confidencialidad de la Identidad del Suscriptor**

Esta característica es propia de la IMSI y no se encuentra disponible para personas particulares, entidades o procesos sin autorización. El propósito de esta característica es proveer privacidad a los usuarios que utilizan los recursos de la PLMN GSM, permitiendo una mejora de las otras características de seguridad y previniendo el rastreo de la ubicación de un suscriptor móvil a través de la interceptación del intercambio de señalización sobre la ruta de radio.

- **Autenticación de la Identidad del Suscriptor**

La autenticación de la IMSI es la corroboración hecha por el sistema, de que la identidad del usuario transferida por el suscriptor móvil dentro del procedimiento

---

de identificación en la ruta de radio, es único. Esta característica se implementa con el propósito de proteger a la red contra la utilización no autorizada permitiendo la protección de los suscriptores y denegando la posibilidad de que intrusos los suplanten.

- **Confidencialidad de los Datos del Usuario sobre la Conexión Física**

La confidencialidad de los datos del usuario (códigos de voz y datos) sobre la conexión física (interfaz aérea), establece que el intercambio de información del usuario sobre los canales de tráfico no está disponible para personas particulares, entidades o procesos sin autorización.

- **Confidencialidad de los Datos del Usuario Sin Conexión**

Esta característica establece que la información del usuario que es transferida en el modo de paquetes sin conexión sobre un canal de señalización, no está disponible para personas particulares, entidades o procesos sin autorización. El objetivo de dicha característica es garantizar la privacidad de los SMS.

- **Confidencialidad de los Elementos y la Información de Señalización**

Establece que la información de señalización que es intercambiada entre distintas MS y el BSS no está disponible para personas particulares, entidades o procesos sin autorización. Con el objetivo de garantizar la privacidad de los elementos de señalización relativos a los suscriptores.

---



---

## 1.9 EVOLUCIÓN DE GSM (EDGE)

EDGE es un sistema de radio global basado en el estándar móvil de datos de alta velocidad que puede ser introducido en la red GSM/GPRS. EDGE permite la transmisión de datos a velocidades mayores de 200Kbps en el modo de conmutación de paquetes, estas velocidades de transferencia son requeridas para soportar los servicios multimedia. Éste está agrupado en el mismo ancho de banda de GSM y existe en las bandas de frecuencias de 800, 900, 1800 y 1900MHz. La idea detrás de EDGE es la de incrementar la velocidad de los datos que se puede alcanzar con la portadora de radio GSM de 200KHz a través del cambio del tipo de modulación utilizado, mientras continua trabajando con los nodos de red existentes en GSM/GPRS.

La nueva modulación que se introdujo es la de desplazamiento de fase de ocho estados (8 PSK). El concepto básico de restricción consiste en causar el menor impacto posible sobre los núcleos de red. Debido a que esta característica reutiliza el espectro existente, ésta representa una solución de bajo presupuesto para los operadores que desean proveer servicios multimedia es sus redes GSM/GPRS. EDGE fue introducido en el tope del HSCSD, que es utilizado para transmitir datos en el modo de conmutación de circuitos sobre varios timeslots. La evolución de este servicio con la introducción de EDGE es denominada como ECSD Enhanced Circuit Switched Data (Mejoramiento de Datos por Conmutación de Circuitos). La evolución de GPRS hacia EDGE es denominada como «EGPRS», también es a veces llamada como EDGE clásico. Éste permite velocidades de transferencia mayores a 475Kbps para el soporte de recepción sobre ocho timeslots. La interfaz más afectada es la interfaz de radio y los mayores impactos se encuentran en el BSS de la red y en la MS.

---

---

### 1.9.1 Características Generales de EDGE

La introducción de EDGE no tiene impacto sobre el núcleo de red de GPRS. Las principales modificaciones están enlazadas a la interfaz de radio. Básicamente, EDGE se basa en un nuevo esquema de modulación y un nuevo CS Coding Scheme (Esquema de Codificación) para la interfaz aérea, haciendo posible la optimización de la transferencia de datos con respecto a las condiciones de propagación de radio. Existen 9 MCS Modulation and Coding Scheme (Esquemas de Codificación y Modulación) propuestos para el mejoramiento de la comunicación de datos por paquetes, proveyendo datos RLC Radio Link Control (Controlador del Radio Enlace) en bruto en un rango de velocidades entre 8.8Kbps (el valor mínimo por timeslot bajo las peores condiciones de propagación de radio) hasta los 59.2Kbps (valor máximo alcanzable por timeslot bajo las mejores condiciones de propagación de radio).

Las velocidades de datos alrededor de 17.6 Kbps requieren que la modulación 8 PSK sea utilizada en la interfaz aérea, en lugar de la modulación regular de GMSK. La Tabla 1.6 muestra las velocidades de transferencia asociadas con varios esquemas de codificación y modulación.

Tabla 1.6 Velocidades de transferencia para esquemas de codificación y modulación.

<b>Esquema de codificación y modulación</b>	<b>Modulación</b>	<b>Máxima velocidad de transferencia</b>
MCS-9	8-PSK	59.2Kbps
MCS-8	8-PSK	54.4Kbps
MCS-7	8-PSK	44.8Kbps
MCS-6	8-PSK	29.6Kbps
MCS-5	8-PSK	22.4Kbps
MCS-4	GMSK	17.6Kbps

---

---

MCS-3	GMSK	14.8Kbps
MCS-2	GMSK	11.2Kbps
MCS-1	GMSK	8.8Kbps

EDGE proporciona nuevos servicios debido a las mayores transferencias de bit. También, el rango de bit de la modulación se ha incrementado en una razón de 3 con la modulación 8PSK permitiendo una velocidad de transferencia que es tres veces más alta. La capacidad de la red no se puede multiplicar por 3, esto se debe a que la relación portadora- interferencia (C/I) varía junto con la red. Dependiendo de la posición de la MS se necesitará la codificación de canal para optimizar su transmisión, llevando esto a un promedio en la velocidad de transferencia por debajo del máximo.

EDGE proporciona una relación costo/beneficio más significativa para proveer servicios de tercera generación (3G) con el espectro existente. Éste permite a los operadores proporcionar servicios de 3G actualizando sus infraestructuras inalámbricas existentes GSM/GPRS. EDGE permite el soporte de servicios y aplicaciones de datos y multimedia (servicios que no pueden ser soportados por GPRS).

- **Capacidades de la MS para EDGE.**

Una MS de EDGE está caracterizada por diferentes parámetros que dan información sobre sus capacidades. La consecuencia de la implementación de una nueva modulación es la implementación de una parte totalmente nueva en la capa física del móvil que se utilizará para ello. Esta modulación ha traído nuevas limitaciones en el diseño de la capa física sobre la parte de RF como en la parte de banda base. La introducción de las capacidades de EDGE junto con la MS ha tenido profundos impactos en la parte de la banda base. La introducción de 8 PSK

---

con una mayor eficiencia espectral requiere de nuevos y más complejos algoritmos para la parte de ecualización así como también para la parte de codificación y decodificación. El nivel de complejidad se ha incrementado grandemente cuando se compara con la modulación GMSK. La ejecución del mismo número de acciones durante una trama TDMA (codificación, ecualización y decodificación) requiere de un mayor procesamiento. Un móvil puede desempeñar «x» recepciones durante una trama en el modo GPRS pero solo podrá desempeñar «y» recepciones en el modo EDGE, en donde,  $y < x$ .

Como resultado, una MS EDGE puede ser caracterizada por dos clases de multi-timeslots<sup>Ψ</sup>:

- Una correspondiente a la clase de multi-timeslot GPRS pura.
- Otra que corresponde a la clase de multi-timeslot EDGE pura.

La clase de multi-timeslot EDGE está definida por los mismos parámetros que la clase de GPRS: máximo número de timeslots de recepción, máximo número de timeslots de transmisión y máximo número de timeslots (RX + TX) en una trama TDMA. La MS puede soportar la clase de multi-timeslot EDGE en ambos modos EDGE y GPRS. La clase GPRS soporta modulaciones 8-PSK y GMSK en la dirección del enlace descendente de recepción pero está limitada a la modulación GMSK en el enlace ascendente. Esto significa que un móvil de esta clase soporta en recepción los esquemas MCS-1 al MCS-9 pero en el enlace ascendente únicamente es capaz de soportar del MCS-1 al MCS-4. La segunda clase (EDGE) soporta 8-PSK en ambas direcciones enlace ascendente y descendente. Este tipo de móvil soporta todos los esquemas MCS tanto en TX como en RX.

---

<sup>Ψ</sup> Referirse al glosario.

---

### 1.9.2 Modulación 8-PSK.

EDGE está basado en el esquema de modulación que le permite una mayor velocidad de bits a través de la interfaz aérea. La modulación 8-PSK posee una constelación de ocho estados permitiendo la codificación de 3 bits por símbolo. La velocidad de bit es entonces tres veces mayor que la de la modulación GMSK. El transmisor EDGE adapta la modulación y el CS dependiendo de las condiciones de radio; éste puede utilizar la modulación GMSK ó 8-PSK de acuerdo al esquema MCS utilizado. El receptor no es informado de la modulación utilizada en el transmisor. La MS debe desempeñar una detección de la modulación antes de que este habilitado para identificar que esquema ha sido utilizado. El soporte de la modulación 8-PSK es mandatorio para el móvil en el enlace descendente pero es opcional en el enlace ascendente. Entonces, una red puede soportar EDGE sin implementar 8-PSK.

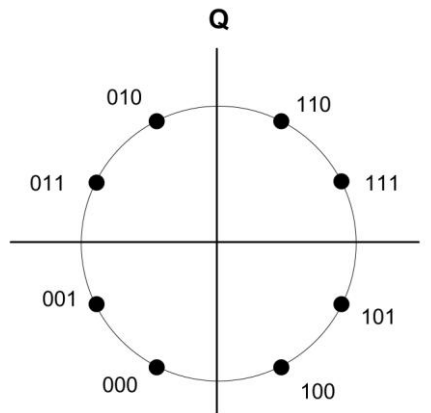
En la Tabla 1.7 se muestra la tabla de verdad de la modulación 8-PSK, y en la Figura 1.20 se muestra el Diagrama I/Q de 8-PSK

Tabla 1.7 Tabla de Verdad Modulación 8-PSK.

Entrada Binaria			Fase de Salida de 8 PSK
Q	I	C	
0	0	0	-112.5°
0	0	1	-157.5°
0	1	0	-67.5°
0	1	1	-22.5°
1	0	0	+112.5°
1	0	1	+157.5°
1	1	0	+67.5°
1	1	1	+22.5°

---

Figura 1.20 Modulación 8-PSK (diagrama Fasorial I/Q)



### 1.9.3 Control de la Calidad del Enlace.

Una de las principales mejoras de EDGE, comparado con GPRS, es el control de la calidad del enlace. La mejora fue posible debido a la introducción de un nuevo esquema ARQ Automatic Repeat Request (Solicitud de Repetición Automática), IR Incremental Redundancy (Redundancia Incremental) y nuevas estimaciones para la calidad del enlace.

El IR es un mecanismo ARQ mejorado que reutiliza la información de las transmisiones previas de un bloque de datos RLC que fue mal decodificado con el fin de incrementar la capacidad de decodificarlo cuando éste es retransmitido.

Éste consiste en la combinación a la salida del demodulador de recepción, de la información de bits desde diferentes transmisiones «N» del mismo bloque RLC.

El mecanismo puede ser asociado con la adaptación del enlace con el fin de proporcionar una eficiencia de radio superior en la interfaz de aire.

---