

4.- COMUNICACIONES MÓVILES

4.1.- HISTORIA DE LAS COMUNICACIONES MOVILES

Las comunicaciones móviles de voz, comenzaron en 1921, cuando el Departamento de Policía de Detroit, implantó el primer sistema unidireccional de telefonía móvil, como no podía ser de otra forma, en los coches de la policía (tenía canales unidireccionales y frecuencias fijas y funcionaba a 2 MHz). Diez años más tarde, aparece ya un sistema de comunicaciones bidireccional a partir del cuál se extienden las redes móviles a los servicios públicos asistenciales (bomberos, ejército, etc.). En 1934, 194 sistemas de radio de policía municipal y 58 comisarías, habían adoptado la amplitud modulada (AM).

Más tarde, en 1940, la Comisión Federal de Comunicaciones (FCC) dispuso nuevas frecuencias para la radio móvil en la banda de frecuencia de 30 a 40 MHz. Sin embargo, no fue hasta que los investigadores desarrollaron técnicas de modulación en frecuencia (FM) en sustitución de las de modulación de amplitud (AM), para mejorar la recepción en presencia de ruido electrónico y desvanecimiento de señales, que la radio móvil se convirtió en algo verdaderamente útil. El primer sistema de telefonía móvil comercial en los Estados Unidos se estableció, en 1946, en St. Louis (Missouri), cuando la FCC proporcionó seis canales de telefonía móvil de 60 kHz, en el rango de frecuencias de 150 MHz. Poco más tarde, en 1947 se estableció un sistema móvil público en la autopista entre la ciudad de Nueva York y Boston que operó en el rango de frecuencia de 35 a 40 MHz (ver *Fig.24*).

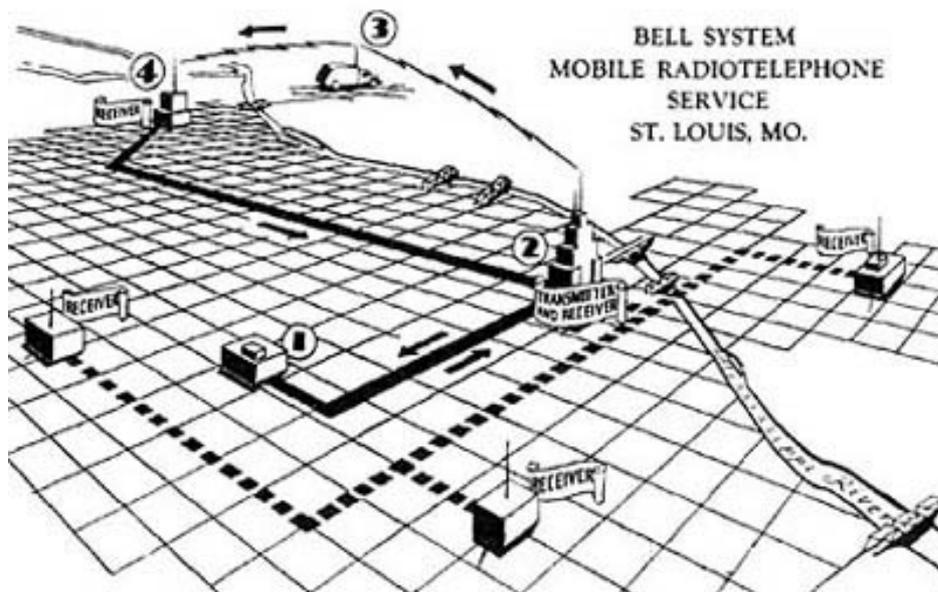


Fig.24: Sistema móvil St.Louis.

En 1949, La FCC autorizó seis canales móviles adicionales a las portadoras de radio comunes, para ser utilizadas por compañías que hasta entonces no proporcionaban un servicio telefónico público. También, incrementó el número de canales de 6 a 11, reduciendo el ancho de banda a 30 kHz y espaciando los nuevos canales entre los viejos. En 1950, la FCC agregó 12 canales nuevos en la banda de 450 MHz.

Hasta 1964, los sistemas de telefonía móvil operaban sólo en el modo manual; una operadora del teléfono móvil especial manejaba cada llamada, de y hacia cada unidad móvil. En 1964, se pusieron en servicio los sistemas selectores de canales automáticos para los sistemas de telefonía móvil, lo que eliminó la necesidad de la operación oprimir-para-hablar (*push-to-talk*) y le permitió a los clientes marcar directamente sus llamadas, sin la ayuda de una operadora. La instalación de marcación automática se extendió a la banda de 450 MHz, en 1969, y los sistemas de telefonía móvil mejorados (IMTS), se convirtieron en el servicio de telefonía móvil estándar de Estados Unidos. Los sistemas MTS sirven a un área de aproximadamente 60 Km. a la redonda y cada canal opera similarmente a una línea compartida. Cada canal puede

asignarse a varios suscriptores, pero sólo uno puede utilizarlo a la vez y si el canal preasignado está ocupado se debe esperar hasta que se desocupe, antes de hacer o recibir una llamada. El ámbito de aplicación de la radio privada sale del entorno oficial y se extiende a otros sectores como las empresas de agua, gas, electricidad, transportes, asistencia médica, etc. Técnicamente hablando, es en este momento cuando aparecen las válvulas electrónicas en miniatura, que permiten el logro de los primeros equipos 'portátiles' (ver Fig.25). Además, con la transistorización, en la década de los 60, se logró una enorme reducción del tamaño y peso de los equipos, dando lugar a los *walkie-talkie* (hablar en marcha).



Fig.25: Primeros equipos portátiles.

La demanda creciente en el espectro de frecuencia de telefonía móvil saturado impulsó a la FCC a buscar un modo de proporcionar una eficiencia del espectro de frecuencia mayor. En 1971 AT&T hizo una propuesta sobre la posibilidad técnica de proporcionar respuesta a lo anterior; se comenzaba a delinear el principio de la **radio**

celular, que entraría en servicio en distintos países a primeros de los 80, con AMPS, NMT, ETACS, etc. y una década más tarde con GSM, D-AMPC, PDC, etc. y ya en el siglo XXI con UMTS y cdma2000, pasando por GPRS, WAP, I-mode, etc....

4.2.- EUROPA ENTRA EN LA TELEFONÍA MÓVIL

Si lo expuesto ocurría en los Estados Unidos, en Europa también se desarrollaban iniciativas y se ponían en marcha distintas redes comerciales. El primer sistema de telefonía móvil europeo nació en los años 40 en la ciudad sueca de Estocolmo, de la mano de la compañía sueca Ericsson, con aparatos, que por su enorme peso y tamaño, sólo se podían instalar en vehículos. El consumo de éstos era capaz de agotar la batería de un coche en dos horas, incluso con el motor en marcha.

Años más tarde, la operadora Teverket sueca instaló un sistema de prueba que en 1956 entró en servicio y que, a finales de los sesenta, tenía 125 abonados. En 1969, en la conferencia nórdica de Telecomunicaciones, los delegados de los países asistentes aprobaron el concepto de una colaboración pan-nórdica en materia de telefonía móvil. Un año más tarde, en 1970, los laboratorios BELL empezaron a trabajar en los '*sistemas celulares*', dando lugar al concepto NMT (Nordiska Mobile Telphongruppen). Los problemas técnicos que hasta el momento producían gran congestión (roaming y conmutación aplicables) fueron resueltos y el 1 de octubre de 1981 el servicio fue inaugurado en Suecia.

De cualquier forma, y sorpresivamente, el honor de haber puesto en marcha la *primera red móvil celular* corresponde a Arabia Saudita, que inició su andadura el 1 de septiembre de 1981 con tecnología NMT suministrada por Ericsson, en dura competencia con la holandesa Philips. La razón del adelanto fue la disponibilidad de banda de frecuencia de 450 MHz, en la que funcionaban los equipos de la compañía sueca.

En los Estados Unidos el sistema AMPS (Advanced Mobile Phone System), pionero entre los sistemas celulares analógicos mundiales, tuvo un gran éxito, lo mismo que sucedió en Europa con el TACS (Total Access Communication System).

4.3.- EL CONCEPTO CELULAR

La radio celular corrige muchos de los problemas de los servicios de telefonía móvil de dos direcciones tradicionales y crea un ambiente totalmente nuevo para el servicio telefónico tradicional de líneas fijas.

Los conceptos claves de la radio celular fueron descubiertos por los investigadores, en los laboratorios de Teléfonos Bell, en 1947: *subdividiendo un área geográfica relativamente grande en secciones más pequeñas llamadas celdas o células, se podría aplicar un concepto de **reutilidad de frecuencias** para incrementar la capacidad de un canal de telefonía móvil*, en definitiva, el mismo de conjunto de frecuencias –canales– se puede asignar a más de una célula, siempre y cuando las células estén a una cierta distancia de separación, para evitar interferencias.

Esencialmente, los sistemas de telefonía celular permiten que un gran número de usuarios compartan un número limitado de canales de uso común disponibles en una región. Además, la tecnología de circuitos integrados y de microprocesadores ha permitido recientemente que los circuitos de radio y lógica compleja sean utilizados en las máquinas de conmutación electrónica para almacenar los programas que proporcionan un procesamiento de llamadas rápido y eficiente.

4.4.- LAS GENERACIONES DE LA TELEFONÍA INALÁMBRICA

- **LA PRIMERA GENERACIÓN: 1G**

La 1G de la telefonía móvil hizo su aparición en 1979, se caracterizó por ser analógica y estrictamente para voz. Se caracterizó por, baja velocidad (2400 baudios), transferencia entre celdas imprecisa, baja capacidad (basadas en FDMA, *Frequency Divison Multiple Access*) y además la seguridad no existía. La tecnología predominante de esta generación es **AMPS** (*Advanced Mobile Phone System*).

- **LA SEGUNDA GENERACIÓN: 2G**

A principios de los 90, los sistemas de telefonía móvil analógicos alcanzaron el límite de sus posibilidades y, por otro lado, se contemplaba ya la *liberalización de las telecomunicaciones*, empezando por el sector móvil. Todo ello favoreció el desarrollo en Europa de un nuevo sistema con naturaleza paneuropea que permitiera la itinerancia internacional (*roaming*), creándose, a tal efecto, en 1983, en el seno de la CEPT (*Conference Européenne des Postes et Telecommunications*) un grupo de trabajo denominado **GSM** (*Groupe Special Mobile*), con el mandato de especificar un sistema de telefonía móvil celular de gran capacidad, con posibilidad de evolución para ir incorporando nuevas tecnologías, servicios y aplicaciones. La especificación de la Fase I del GSM concluyó en 1991 con los servicios de voz y las primeras redes se desplegaron inmediatamente

El sistema 2G utiliza protocolos de codificación más sofisticados y son los sistemas de telefonía celular usados en la actualidad. Las tecnologías predominantes son: **GSM** (Global System for Mobile Communications); IS-136 (conocido también como TIA/EIA-136 o ANSI-136) y CDMA (Code Division Multiple Access) y PDC (Personal Digital Communications), éste último utilizado en Japón.

Los protocolos empleados en los sistemas 2G soportan velocidades de información más altas para voz pero limitados en comunicaciones de datos. Se pueden

ofrecer servicios auxiliares tales como datos, fax y SMS [Short Message Service]. La mayoría de los protocolos de 2G ofrecen diferentes niveles de encriptación. En los Estados Unidos y otros países se le conoce a 2G como PCS (Personal Communications Services).

LA GENERACIÓN 2.5

Muchos de los proveedores de servicios de telecomunicaciones (*carriers*) se moverán a las redes 2.5G antes de entrar masivamente a 3G. La tecnología 2.5G es más rápida y más económica para actualizar a 3G. La generación 2.5G ofrece características extendidas para ofrecer capacidades adicionales que los sistemas 2G tales como **GPRS** (*General Packet Radio System*), HSCSD (High Speed Circuit Switched Data), EDGE (Enhanced Data Rates for Global Evolution), IS-136B, IS-95B, entre otros. Los carriers europeos y de Estados Unidos se moverán a 2.5G en el 2001. Mientras que Japón ira directo de 2G a 3G también en el 2001.

- **LA TERCERA GENERACIÓN: 3G**

La 3G es tipificada por la convergencia de la voz y datos con acceso inalámbrico a Internet, aplicaciones multimedia y altas transmisiones de datos. Los protocolos empleados en los sistemas 3G soportan más altas velocidades de información enfocados para aplicaciones mas allá de la voz tales como audio (MP3), video en movimiento, video conferencia y acceso rápido a Internet, sólo por nombrar algunos. Las redes 3G ya han empezado a operar.

Los sistemas 3G alcanzan velocidades de hasta 384 Kbps permitiendo una movilidad total a usuarios viajando a 120 kilómetros por hora en ambientes exteriores y alcanza una velocidad máxima de 2 Mbps permitiendo una movilidad limitada a usuarios caminando a menos de 10 kilómetros por hora en ambientes estacionarios de corto alcance o en interiores. Entre las tecnologías contendientes de la tercera generación se encuentran **UMTS** (Universal Mobile Telephone Service), cdma2000, IMT-2000, ARIB [3GPP], UWC-136, entre otras.

El impulso de los estándares de la 3G está siendo apoyado por la ITU (International Telecommunications Union) y a este esfuerzo se le conoce como IMT-2000 (International Mobile Telephone).

- **LA CUARTA GENERACIÓN: 4G**

La cuarta generación es un proyecto a largo plazo que será 50 veces más rápida en velocidad que la tercera generación. Se planean hacer pruebas de esta tecnología hasta el 2005 y se espera que se empiecen a comercializar la mayoría de los servicios hasta el 2010.

Usuarios de teléfonos celulares en el mundo

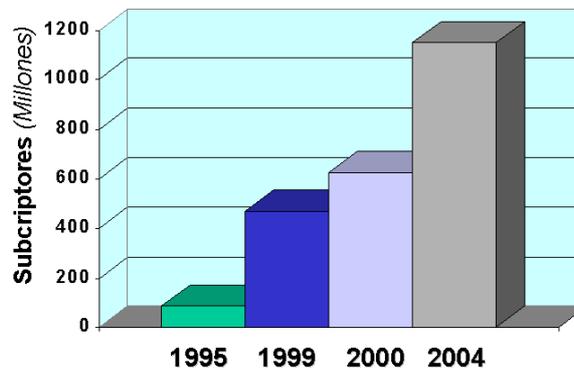


Fig.26: Evolución del número de usuarios en el mundo.

4.4.1.- La evolución en España.

- **La primera generación: 1G**

En la corta historia de la telefonía móvil automática (TMA) en España, se han utilizado dos sistemas analógicos diferentes. En primer lugar, en 1982, **Telefónica** implantó el **NMT-450**, por necesitar pocas antenas para cubrir el territorio nacional; con posterioridad, a principios de 1990 y debido a la falta de capacidad del NMT y al constante aumento de usuarios, se implantó el sistema **ETACS**, bajo la marca

MoviLine, con terminales de un tamaño mucho más reducido y manejables y con precios al alcance de un público más amplio.

- **La segunda generación: 2G**

En España, en 1992 se inician las pruebas de con el sistema digital GSM, a finales de 1994, se liberalizó el servicio de telefonía móvil, con la concesión de dos licencias GSM a Telefónica Móviles (**MoviStar**) y Airtel (ahora **Vodafone**), y empezaron la comercialización del sistema GSM en Julio de 1995. En enero de 1996 Telefónica Servicios móviles alcanza un millón de clientes. En 1999 se concede una tercera licencia GSM a Amena (ahora en el **Grupo Auna**).

En Febrero de 1999 se comienza a ofrecer servicio dual GSM, y se pasa a operar, además de en la banda de frecuencias 900 MHz, en la de 1.800 MHz. Desde entonces el desarrollo del GSM ha sido espectacular y ha cumplido sobradamente las esperanzas puestas en él, desbordando su ámbito inicialmente previsto para extenderse fuera de Europa, lo que ha motivado un cambio en la interpretación de su abreviatura, convirtiéndose en "Global System for Mobile Communications". A pesar de su gran éxito, los servicios se han ampliado, presentado algunas mejoras en el servicio GSM, como son los SMS (Short Messaging Service) que permite enviar mensajes cortos de texto entre terminales y su evolución MMS (Multimedia Messaging Service) que permite incluir en los mensajes audio e imágenes, también se ha dotado a los teléfonos GSM de acceso a Internet ya sea vía WAP, GPRS (General Packet Radio Service) o I-MODE, esto entraría ya en la llamada 2.5G. Actualmente, en todo el mundo, 3 de cada 4 móviles son de tecnología GSM.

- **La tercera generación: 3G**

En Marzo de 2000 se adjudican cuatro licencias para ofrecer telefonía móvil de tercera generación con el estándar **UMTS** (Universal Mobile Telecommunications System) que va a permitir al acceso a Internet de banda ancha desde el terminal móvil. En Octubre de 2001 se empieza con las pruebas de UMTS y en Octubre de 2003 **Telefónica Móviles** comienza a prestar los primeros servicios UMTS. Actualmente el

número de líneas de telefonía móvil en España supera con creces el número de líneas fijas, y prácticamente todos los habitantes del país tienen un móvil, ya que existen mas de 30 millones de líneas móviles.

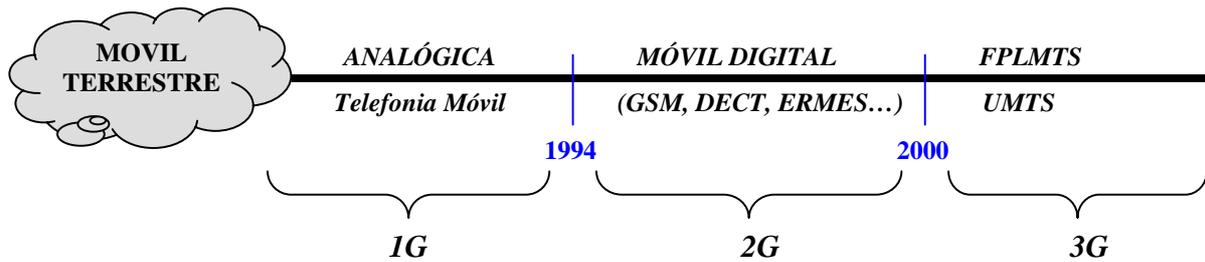


Fig.27: Evolución de la telefonía móvil terrestre

4.5.- TECNOLOGÍAS DE ACCESO CELULAR.

En la actualidad existen tres tecnologías comúnmente usadas para transmitir información en las redes:

- Acceso múltiple por división de frecuencia: **FDMA**.
- Acceso múltiple por división de tiempo: **TDMA**.
- Acceso múltiple por división de código: **CDMA**.

La primera parte de los nombres de las tres tecnologías (Acceso múltiple), significa que más de un usuario (múltiple) puede usar (acceder a) cada celda. La diferencia primordial yace en el método de acceso a la red, el cual varía entre:

- FDMA → Frecuencia.

- TDMA → Tiempo.
- CDMA → Códigos únicos (que se proveen a cada llamada en la tecnología).

A continuación veremos, sin entrar en detalles, cómo funciona cada una de las tres tecnologías.

La **tecnología FDMA** separa el espectro en distintos canales de voz, al separar el ancho de banda en pedazos (frecuencias) uniformes. La tecnología FDMA es mayormente utilizada para la *transmisión analógica*. Esta tecnología no es recomendada para transmisiones digitales, aun cuando es capaz de llevar información digital.

La **tecnología TDMA** comprime las conversaciones (digitales), y las envía cada una utilizando la señal de radio por un tercio de tiempo solamente, es decir, divide los canales de radio en tres ranuras de tiempo, cada usuario recibe en una ranura diferente. La compresión de la señal de voz es posible debido a que la información digital puede ser reducida de tamaño por ser información binaria ('1' y '0'). Debido a esta compresión, la tecnología TDMA tiene tres veces la capacidad de un sistema analógico que utilice el mismo número de canales, ya que permite a tres usuarios en cada canal de radio comunicarse sin interferirse uno con el otro. En GSM se combinan hasta 4 ranuras de tiempo en cada canal de radio.

La **tecnología CDMA** es muy diferente a la tecnología TDMA. La CDMA, después de digitalizar la información, la transmite a través de todo el ancho de banda disponible, utiliza la tecnología de *espectro disperso* en la cual muchos usuarios comparten simultáneamente el mismo canal pero cada uno con diferente código, esto es, varias llamadas son sobrepuestas en el canal, y cada una tiene un código de secuencia único. Usando la tecnología CDMA, es posible comprimir entre 8 y 10 llamadas digitales para que estas ocupen el mismo espacio que ocuparía una llamada en el sistema analógico.

En teoría, las tecnologías TDMA y CDMA deben de ser transparentes entre sí (no deben interferirse o degradar la calidad), sin embargo en la práctica se presentan

algunos problemas menores, como diferencias en el volumen y calidad, entre ambas tecnologías

4.6.- GSM



Fig.28: Logo del sistema GSM.

4.6.1.- Introducción.

[3] El Grupo GSM definió una serie de requisitos básicos para el nuevo sistema, entre los que cabe destacar los siguientes:

- Itinerancia internacional, dentro de la CE.
- Tecnología digital.
- Gran capacidad de tráfico.
- Utilización eficiente del espectro radioeléctrico.
- Sistema de señalización digital.
- Servicios básicos de voz y datos.
- Amplia variedad de servicios telemáticos.
- Posibilidad de conexión RDSI.
- Seguridad y privacidad en la interfaz radio, con protección de la identidad de los usuarios y encriptación de sus transmisiones.
- Utilización de teléfonos portátiles.
- Calidades altas de cobertura, tráfico y señal recibida.

Los primeros estudios y recomendaciones del GSM consistieron en el establecimiento de una banda de frecuencias común en todos los países.

Tras numerosos debates, se optó por la técnica de acceso múltiple **TDMA** de banda estrecha. El desarrollo se inspiró en la arquitectura OSI (ver *Fig.29*), especificándose los tres primeros niveles:

- nivel 1: FÍSICO.
- nivel 2: ENLACE.
- nivel 3: RED.

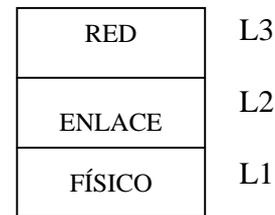


Fig.29: Torre OSI

Se estudiaron numerosas propuestas para la digitalización de la voz, eligiéndose al final un códec vocal a 13Kbps, velocidad total.

El desarrollo de la norma se ha hecho de forma evolutiva, con unas fases que han ido estableciendo partes completas del estándar, como se ha visto en el apartado de introducción histórica:

- fase 1: concluyó en 1990, especificación del servicio de voz.
- fase 2: terminó en 1994, incluía aplicaciones de datos, y particularmente los mensajes cortos SMS.
- fase 2+: que llega hasta nuestros días, añade facilidades a la fase 2 como:
 - i. Uso de bandas adicionales.
 - ii. Mejoras en la codificación de la voz.
 - iii. Desarrollo de aplicaciones específicas de datos, con velocidades superiores a la inicialmente prevista de 9600 bps. Se han especificado los servicios de HSCSD (*High Speed Circuit Switched Data*) con *conmutación de paquetes*. Este último para aplicaciones de MMS (mensajería multimedia) e Internet Móvil.
 - iv. Extensión de los servicios de red inteligente a los usuarios en itinerancia, aplicación CAMEL.
 - v. Tecnología EDGE (*Enhanced Data for GSM Evolution*) con una modulación de 8 niveles, permite triplicar la velocidad de transmisión.

El grado de desarrollo del GSM ha superado con creces las previsiones que en su día se hicieron, a finales del 2003 el número de abonados en todo el mundo era de unos mil millones, de ellos 467 en Europa (ver Fig.26)

4.6.2.- Especificaciones del sistema GSM.

Las especificaciones del GSM, elaboradas y editadas por el ETSI, comprenden más de 5000 páginas y se dividen en series que se ocupan de temas específicos.

En la descripción que sigue trataremos básicamente de la interfaz radio, o **capa física**, con algunas breves indicaciones sobre aspectos de interfuncionamiento y explotación.

Como marco general de la capa física se indican a continuación sus especificaciones fundamentales (para Europa):

1) Bandas de frecuencias y separación dúplex.

	900 MHz	1800 MHz
Transmisión Estación Móvil	890-915 MHz	1710 -1885 MHz
Transmisión Estación Base	935-960 MHz	1805 -1880 MHz
Separación Dúplex	45 MHz	95 MHz

Tabla 2: Especificación de las frecuencias en GSM.

2) **Separación de canales.**

Es de 200 KHz, proporcionan un valor mínimo de selectividad de canal RF adyacente dentro del sistema igual a 18 dB. Los valores correspondientes a los segundos y terceros canales son, respectivamente, 50 dB y 58 dB como mínimo.

3) **Modulación.**

Utiliza la modulación **GMSK** con $B_bT = 0.3$ y velocidad de modulación 270'83 Kbps en RF, con un rendimiento espectral aproximado de 1 bit/s/Hz.

4) **Relación de protección.**

La relación de protección cocanal es $R_p = 9 \text{ dB}$.

5) **Retardo compensable máximo.**

$223 \mu\text{seg}$.

6) **Pire máxima de la estación base.**

500 W por portadora.

7) **Dispersión temporal.**

Puede ecualizarse una dispersión temporal de $16 \mu\text{seg}$. como máximo.

8) **Codificación de canal.**

Se utiliza un código bloque detector y un código convolucional corrector de errores, con entrelazado de bits para combatir las ráfagas de errores.

9) **Potencia nominal de las estaciones móviles.**

Hay diversos tipos de estaciones, con potencias máximas de 2, 5, 8 y 20 W.

10) **Estructura celular y reutilización.**

La estructura celular es *sectorizada*, de tipo 3/9 ó 4/12 en medios urbanos. En medios rurales las células son omnidireccionales. El radio celular varía entre un máximo de 35 Km. (zonas rurales) y unos 0'5 Km. (zonas urbanas).

11) **Acceso múltiple.**

Se utiliza TDMA con 8 intervalos de tiempo por trama. La duración de cada intervalo es de 0'577 mseg. La trama comprende 8 canales físicos que transportan los canales lógicos de tráfico y señalización.

Se han establecido también estructuras de multitrama para señalización por canal común.

12) **Canales de tráfico.**

Hay dos clases de canales de tráfico, para voz y para datos (para este proyecto nos interesan los de datos):

Canal de tráfico para VOZ	Canal de tráfico para DATOS
<p>Se han definido canales de velocidad total y velocidad mitad, para los cuales el códec vocal proporciona señales de 13 Kbps y 6'5 Kbps, respectivamente.</p>	<p>Se sustentan servicios de <u>tipo transparente</u>, a 2'4; 4'8 y 9'6 Kbps con diferentes procedimientos de adaptación de velocidad, codificación de canal y entrelazado.</p> <p>Se admiten también servicios de <u>tipo no transparente</u> con una velocidad neta de 12 Kbps.</p>

Tabla 3: Canales en GSM

13) **Canales de control.**

Se han establecido tres categorías: difusión, comunes y dedicados.

14) Facilidades radio.

Las potencias de transmisión del móvil y de la base se regulan mediante algoritmos de control de potencia, de forma que sus valores son los estrictamente necesarios para asegurar una determinada calidad de conexión. Ello conlleva una reducción de la interferencia y del riesgo de uso de los equipos.

Bajo mandato de la red, los móviles pueden efectuar sus transmisiones cambiando de frecuencia de una trama a otra, esto es lo que se denomina saltos de frecuencia *FH (Frequency Hopping)*, así se consigue un efecto similar al de la diversidad de frecuencia y se disminuye el número de fuentes de interferencia.

También puede utilizarse la técnica de *transmisión discontinua (DTX)*, en la cuál sólo hay emisión de la señal RF cuando el usuario está hablando. De esta forma se reduce el nivel de interferencia y se prolonga la duración de la batería. Otra técnica es la *recepción discontinua (DRX)*, gracias a la cual el receptor móvil puede alternar períodos de reposo y escucha, lo que también aumenta la duración de la batería.

15) Reselección de célula.

En situación de reposo el móvil está vinculado a una célula, de forma que pueda interpretar con gran fiabilidad las señales de control del enlace descendente y, asimismo con gran probabilidad, establecer una comunicación por el enlace ascendente.

La condición para efectuar la reelección de célula se basa en criterios de pérdida de propagación. Si se rebasa un umbral de pérdida, o si el móvil es incapaz de decodificar los bloques de control o de efectuar el acceso a la estación base, inicia el proceso de reelección.

16) Localización automática.

Se efectúa mediante la evaluación, por parte del móvil, de la señal de

control y la devolución de su identidad a la red. La localización automática debe ser posible entre los centros de conmutación del servicio móvil (MSC) de cada país y entre diferentes países.

17) Traspaso.

El traspaso asegura la continuación de la comunicación cuando el móvil pasa de la zona de cobertura de una célula a la de otra. También se emplea para aliviar la congestión de tráfico (*traspaso gobernado por la red*). El traspaso puede hacerse entre el canal de una célula y un canal de una célula adyacente o entre distintos canales de una misma célula.

La estrategia de traspaso se basa en el control de un enlace mediante mediciones realizadas por el móvil y la estación base. El móvil supervisa el nivel y la calidad de la señal descendente enviada por la base que le atiende, así como la de la base de las células vecinas. La estación base supervisa el nivel y la calidad de la señal ascendente para cada móvil. Las mediciones de nivel se utilizan también para el control de la potencia de RF. Es posible el traspaso entre diferentes zonas de localización y centros de conmutación MSC pertenecientes a la misma PLMN (Public Lan Mobile Network).

18) Señalización.

La señalización entre las estaciones base y los MSC siguen un procedimiento estructurado, similar al de RDSI. Entre los MSC se usa SS7 (Sistema de Señalización Núm.7).

19) Numeración.

El plan de numeración es conforme con las Recomendaciones de la Serie E del UIT-T.

20) **Seguridad.**

Se ha establecido una técnica de cifrado para las comunicaciones de voz y datos, así como un complejo sistema de autenticación para el acceso al sistema por parte de los terminales.

4.6.3.- Servicios de Telecomunicación GSM.

Desde el principio se concibió GSM como un sistema multiservicio. Las especificaciones se redactaron empleando conceptos de servicios RDSI, por lo que los servicios que ofrece GSM se pueden clasificar en:

➤ **SERVICIOS PORTADORES.**

Se establecen entre terminaciones de red en ambos extremos y ofrecen al usuario una capacidad de transporte independiente del contenido de la información, con diversas modalidades de funcionamiento que se especifican mediante *atributos* (que serían las características).

En la Rec. GSM 02.02 se especifican varios servicios portadores cuyas características generales son:

- Datos síncronos/asíncronos con conmutación de circuitos.
- Acceso a funciones de empaquetado/desempaquetado PAD (*Paquet Assembly Dissassembly*) para datos asíncronos.
- Acceso a redes públicas de paquetes X.25 para datos asíncronos a 2400-9600 bps.
- Conmutación de voz/datos durante una llamada en forma alternada voz/datos o voz seguida de datos.

- Sustentación de técnicas de retransmisión automática ARQ (*Automatic Request*) para mejora de la tasa de errores en modo no transparente.

➤ TELESERVICIO.

Son servicios de telecomunicación que proporcionan una capacidad completa de comunicación entre los usuarios, incluidas las funciones de terminal. En GSM se ofrecen, entre otros, los siguientes:

- Telefonía de voz digitalizada a velocidades de 13 Kbps (velocidad total) y 6'5 Kbps (velocidad mitad).
- Mensajes cortos SMS
- Almacenamiento y tratamiento de mensajes (mensajería vocal).
- Facsímil.
- Mensajería multimedia MMS (mensajes de voz, texto e imágenes fijas y móviles).

➤ SERVICIOS SUPLEMENTARIOS.

Modifican o complementan un servicio básico (portador o teleservicio), de forma que le usuario puede elegir ciertos aspectos de su prestación. En GSM son fundamentalmente servicios de llamadas, como por ejemplo:

- CLIP: Presentación del número del abonado que llama.
- CFU: Reencaminamiento de llamadas en todos los casos.
- CFB: Reencaminamiento sólo si estoy ocupado.
- CW: Llamada en espera
- ...

4.6.4.- Arquitectura de la red GSM.

El sistema GSM se estructura en unidades funcionales e interfaces. Las primeras son entidades que tienen a su cargo la ejecución de las funciones del sistema. Las interfaces son las fronteras de separación entre las unidades funcionales. El conjunto organizado de estos elementos constituye la arquitectura funcional de GSM y se ha representado en la Fig.30.

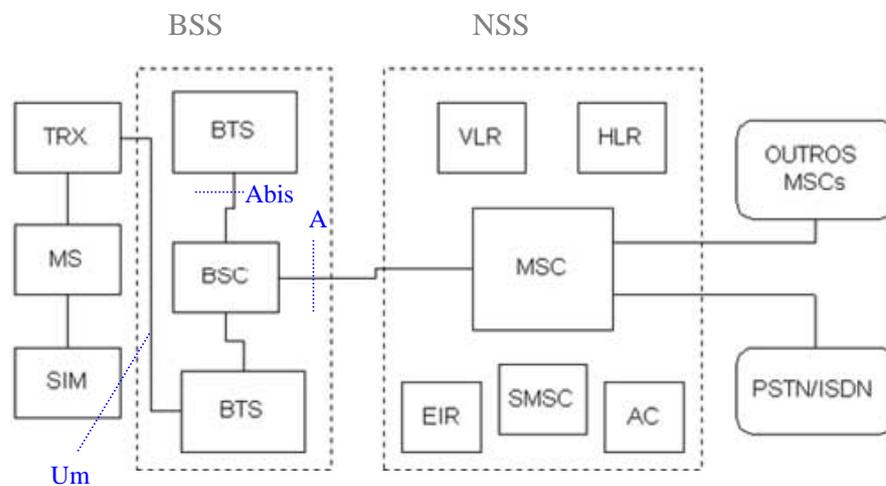


Fig.30: Bloques de la arquitectura GSM

Hay tres grandes bloques (ver Fig.30) que son:

- **BSS** (*Base Station Subsystem*) Subsistema de Estaciones Base.
- **NSS** (*Network Switching Subsystem*) Subsistema de Conmutación y Red.
- **MS** (*Mobile Station*) Estación Móvil.

Entre estos sistemas funcionales, se han definido las dos interfaces básicas siguientes:

- “A”, interfaz de línea, entre NSS y el BSS.

- “U_m”, interfaz aérea o interfaz de radio, entre BSS y el conjunto de MS.

Los bloques anteriores, se desglosan en las siguientes unidades funcionales:

- Dentro de la BSS:
 - 1) Las funciones de control BCF (*Base station Control Functions*) y los equipos (TRX) que constituyen la unidad funcional BTS (*Base Station Transceivers*).
 - 2) El controlador de la estación base BSC (*Base Station Controller*).
- Dentro del NSS:
 - 1) Los centros de conmutación de los servicios móviles MSC (*Mobile Switching Center*) con sus registros de visitantes VLR (*Visitors Location Register*).
 - 2) El MSC de pasarela GMSC (*Gateway MSC*), a través del cual se efectúa la conexión de la PLMN/GSM con las redes públicas externas: PSTN, RDSI,...
 - 3) El registro general de abonados HLR (*Home Location Register*).
 - 4) El registro de identidad de equipos EIR (*Equipment Identity Register*).
 - 5) El centro de autenticación AuC (*Authentication Center*).
 - 6) El centro de operación y mantenimiento OMC (*Operation and Management Center*).
 - 7) El centro de gestión de red NMC (*Network Management Center*).

A fin de que las estaciones base sean más sencillas, pueden ejecutarse muchas funciones de control de forma centralizada en el BSC, del cual dependerían varias BTS. Para el caso en que se utilice esta configuración, se ha definido una interfaz denominada “**A-bis**” entre BSC y los BTS.

La partición funcional más importante tiene lugar en la interfaz A donde se separan las funciones relativas a los aspectos de red y conmutación (asociadas al MSC, VLR y HLR) y las relacionadas con los aspectos radioeléctricos, ejecutadas en el BSS.

Las entidades del primer grupo realizan tareas de gestión de recursos, interfuncionamiento con otras redes, señalización, control de llamadas y cifrado de la información de usuario. En general, son responsables de la gestión de la movilidad. Entre estas funciones pueden destacarse las siguientes:

- a. Autenticación.
- b. Localización y aviso a móviles (*paging*).
- c. Interfuncionamiento con redes asociadas (PSTN, RDSI).

El BSS tiene a su cargo la gestión de los canales de radio que comprende, entre otras, las funciones de asignación de canales, supervisión de la calidad de transmisión, organización temporal de mensajes, codificación y conversión de la velocidad.

Las funciones básicas de los elementos más importantes de la arquitectura son:

- o MSC: Realiza todas las actividades de conmutación y gestión de las llamadas desde/hacia las estaciones móviles.
- o Registros de usuarios: Almacenan informaciones relativas a los abonados residentes y transeúntes. El HLR es el registro general de abonados, donde se guardan el tipo de abono, código de identificación, número, etc. El VLR es un registro de visitantes o transeúntes, donde se inscribe temporalmente un usuario.
- o En el centro de autenticación se almacena información de identidad del abonado móvil y de su equipo para la verificación de las llamadas.

- El centro de operación y mantenimiento ejecuta funciones de supervisión técnica del sistema y ayuda a la localización de averías. Genera también estadísticas de servicio.
- Las estaciones móviles, tienen varias configuraciones según el servicio que vayan a prestar:
 - servicio de telefonía de voz: configuración MT0.
 - servicios de datos: configuración MT1 o MT2.

Para poder utilizar los *servicios de datos* a través de la red GSM, se incorpora una infraestructura especial, de la cual el elemento más significativo es el **GIWU** (*GSM InterWorking Unit*), a continuación se muestra con más detalle.[3][4]

4.6.4.1.- Arquitectura de la red de datos GSM.

Cada GIWU está asociado a su correspondiente MSC (*Mobile Switching Center*), como se aprecia en la *Fig.31*, que es la encargada de establecer las comunicaciones de datos dentro de la red GSM así como de enlazar con usuarios finales localizados en diferentes redes, tales como la Red Telefónica Básica (R.T.B.) y Red digital de Servicios Integrados (R.D.S.I), así como con redes de conmutación de paquetes (X.25).

La función principal del GIWU es el soporte de datos y de fax en GSM y, por tanto, realizar las siguientes funciones de interworking:

- Proveer módems hacia el usuario móvil/fijo RTB.
- Proveer la conversión de protocolo.
- Proveer las diferentes adaptaciones de velocidad.

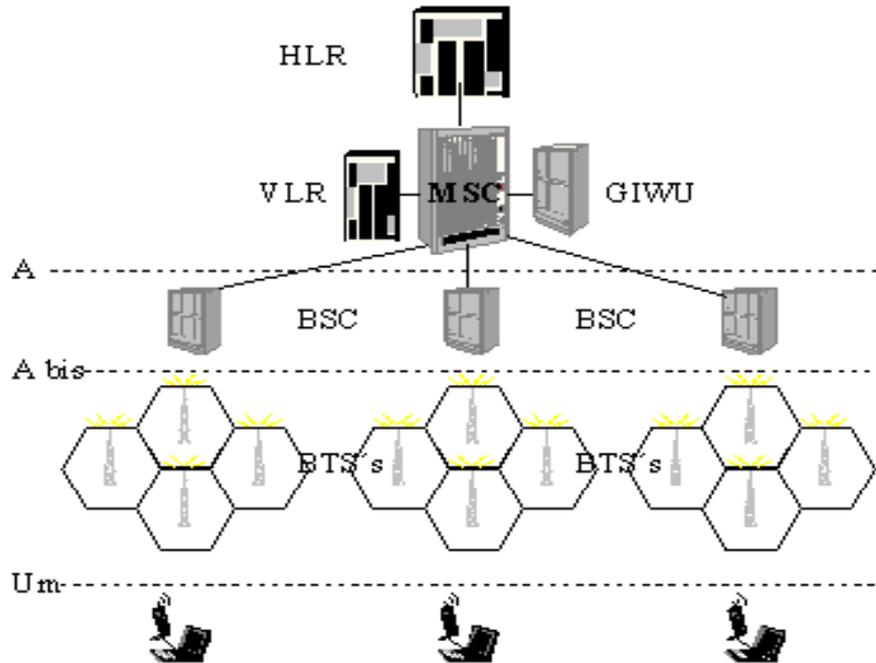


Fig.31: Arquitectura de la red de datos GSM.

La unidad básica del GIWU es conocida como Unidad de GIWU. Cada unidad queda conectada a la MSC mediante un MIC (*Modulación por Impulsos Codificados*) de 2 Mbit/s. (30 +2 canales). Cada unidad puede manejar 15 llamadas simultáneas de datos entre red fija y móvil. El canal 31 se utiliza para señalización (SS7), el canal 0 se utilizará para el sincronismo y el resto para el tráfico de datos, distribuido según la Fig.32

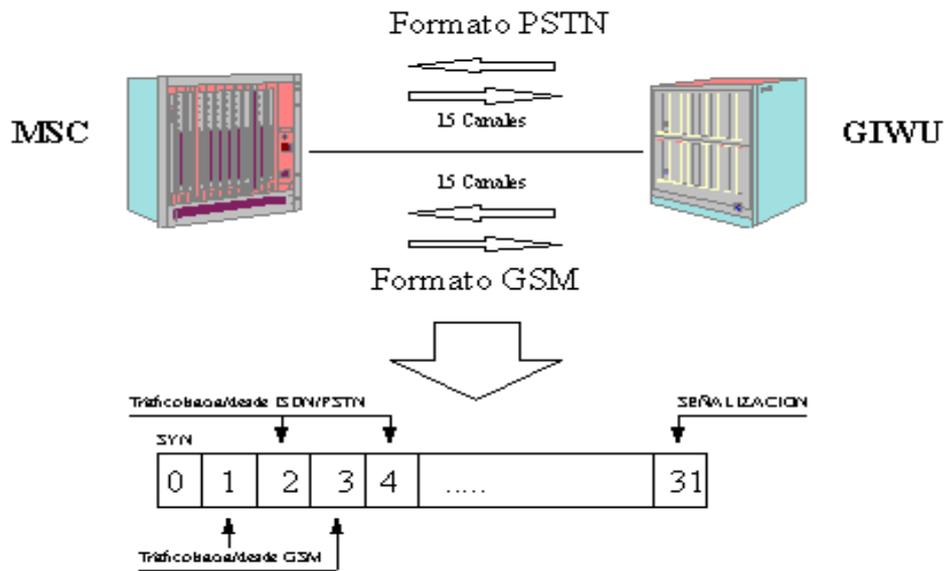


Fig.32: Distribución de los canales en el MIC.

La estructura de conexión del GIWU se muestra en la Fig.33

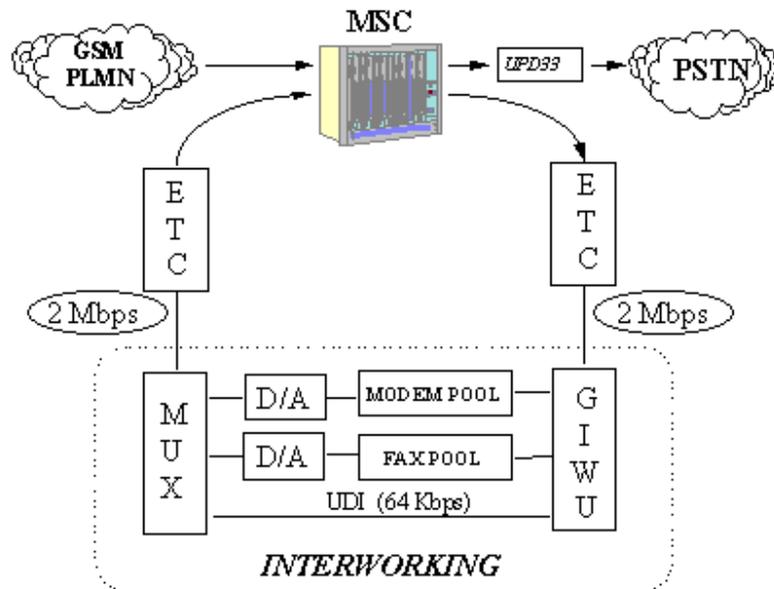


Fig.33: Estructura de interconexión del GIWU

Las entidades funcionales del GIWU son básicamente tres, y quedan representadas en la *Fig.33*:

1. Pool de Modems/Fax: constituido por los módems que forman la interfaz hacia la RTB. Fijémonos que dicho pool es seleccionado cuando se espera enlazar con un equipo conectado a la RTB analógica (la naturaleza de los datos es indicada en la BC como información de Audio 3.1 Khz).

2. La entidad de base (GIWU), que constituye la interfaz física y de señalización hacia la red GSM y donde reside la lógica del interworking hacia la RTB (coger modem analógico del pool anterior) o hacia la N- ISDN que incorpora la adaptación de formato V.110.

3. El Multiplexor (MUX) cuya función es proveer la funcionalidad de multiplexación de las salidas analógicas del pool de módems/fax, una vez digitalizadas, así como las salidas digitales hacia N-ISDN de la entidad de base.

De acuerdo con la figura anterior existen tres rutas distintas en el GIWU:

- Ruta I: conexiones de fax hacia la R.T.B./R.D.S.I.
- Ruta II: conexiones de datos hacia la R.D.S.I.
- Ruta III: conexiones de datos hacia la R.T.B.

Las rutas I y III implican la utilización de un módem del GIWU. La ruta II proporciona una conexión digital extremo a extremo (U.D.I.) con la RDSI.

Otro importante aspecto de esta red, es que permite identificar y distinguir, no sólo entre tráfico telefónico y de datos, sino que además diferencia entre llamadas de datos de distinta naturaleza (fax, datos, etc.), y en consecuencia darle el tratamiento adecuado a cada una de ellas. [9]

4.6.5.- Interfaz U_m : Canales lógicos.

La estructura lógica de los canales de señalización en GSM guarda cierto parecido con la correspondiente a RDSI, utilizándose una configuración designada por $B_m + D_m$ para los canales de acceso, similar a la $nB + D$ de RDSI.

La interfaz U_m se ha diseñado teniendo en cuenta las características de propagación por el canal radio móvil y la necesidad de sustentar la amplia gama de servicios que ofrece GSM. La interfaz se define de conformidad con el modelo estratificado de interconexión de sistemas abiertos. La capa física (L1) se ocupa, entre otras, de las siguientes tareas:

- Constitución de los canales físicos.
- Transmisión radio con salto de frecuencia.
- Codificación con control de errores.
- Sincronización.
- Ecuación del canal radio.
- Control de potencia.
- Transmisión/recepción discontinuas.

Para la realización de los protocolos de señalización D_m en la interfaz U_m , se ha especificado un conjunto de canales lógicos a los que se accede a través de la capa 2. Puede realizarse una primera división de los canales lógicos en dos grandes grupos:

1. Canales de tráfico (B_m, L_m).
2. Canales de control (D_m).

- ❖ Los canales de tráfico TCH (*Traffic Channel*) se utilizan para el transporte de flujos de información de usuario y permiten comunicaciones con conmutación de circuitos mediante conexiones, en modo transparente o en modo dedicado a un servicio (p. Ej. Telefonía con voz digitalizada),

así como comunicaciones con conmutación de paquetes entre terminales dotados de esta posibilidad de funcionamiento. Los TCH se clasifican, a su vez, según la velocidad digital neta que ofrecen como sigue:

1) **TCH/F** (*Full rate*), canal B_m o de velocidad total.

- voz digitalizada → 13 Kbps.
- datos → 9'6 Kbps.

2) **TCH/H** (*Half rate*), canal L_m o de velocidad mitad.

- voz digitalizada → 6'5 Kbps.
- datos → 4'8 Kbps.

❖ Los canales de control CCH (*Control Channel*) transportan información de señalización para todas las funciones propias de la red GSM, como son las de registro, localización, conmutación y gestión de la movilidad. Pueden sustentar también servicios especiales, como el de mensajes cortos.

En la norma GSM se definen los siguientes canales de control (sólo los nombramos: RACH, BCH, PCH, SDCCH, AGCH, SACCH, FACCH).

4.6.6.- Capa Física de la interfaz radio.

La capa física de la red GSM, partiendo de los recursos radioeléctricos disponibles (radiocanales de dos frecuencias, una para el enlace ascendente y otra para el descendente), establece un conjunto de normas de utilización de los radiocanales y especificaciones de funcionamiento de la interfaz U_m . Uno de los aspectos más importantes de que se ocupa esta capa, es el multiacceso y la estructura de los datos en la interfaz radio. A continuación vamos a tratar estos temas.

La norma GSM define un sistema de multiacceso de tipo TDMA jerárquico. En el nivel inferior de la jerarquía, está el intervalo de tiempo TS (*Time Slot*). Un conjunto

ordenado de 8 TS forma la estructura básica que es la trama (*frame*). Los TS de la trama se numeran de 0 a 7, designándose la notación TN_n (*Time slot Number n*). Las tramas, a su vez, tiene asociado un ordinal, llamado número de trama FN (*Frame Number*) que varía de 0 a 2.175.647, de forma cíclica. Este período es tan grande porque interviene en el cifrado de la información.

Por encima de la trama se han definido dos estructuras llamadas multitrama (*multiframe*):

- a. **MF26**, multitrama formada por 26 tramas, que sirve de soporte para los canales de tráfico.
- b. **MF51**, multitrama formada por 51 tramas, que sirve de soporte para los canales de señalización.

Sobre estas estructuras se establece la supertrama **SF** (*SuperFrame*) constituida por 51 MF26 ó 26 MF51. En el nivel más alto de la jerarquía está la hipertrama **HF** (*HyperFrame*) que agrupa 2048 supertramas.

El estándar toma como referencia para la temporización la duración de una MF26, que es igual a 120 mseg. Por consiguiente, las duraciones de las distintas estructuras temporales son:

- | | |
|----------------------|---|
| i. TRAMA | $T_f = 120/26 = 4'615 \text{ mseg.}$ |
| ii. INTERVALO | $T_{TS} = 120/ 26*8 = 0'577 \text{ mseg.}$ |
| iii. MULTITRAMA MF51 | $T_{MF51} = 60*51/13 = 235'385 \text{ mseg.}$ |
| iv. SUPERTRAMA | $T_{SF} = 51*120 = 6120 \text{ mseg.}$ |
| v. HIPERTRAMA | $T_{HF} = 2048*6120 = 12533'76 \text{ seg.}$ |

La señal digital transmitida /recibida en un TS, se denomina **ráfaga** (*burst*).

La transmisión/recepción de ráfagas, dentro de cada intervalo, se realiza en un período de actividad igual a 0'546 mseg. Para permitir la subida/caída de la potencia del transmisor (*ramping*) y encajar pequeños desplazamientos de tiempo.

Cada ráfaga consta de 156'25 períodos de bit BP (*Bit Periods*) por consiguiente:

- La duración de un bit es $\Rightarrow 100 \times (12126/156'25) = 3'69 \mu\text{seg.}$
- La velocidad en la interfaz radio $\Rightarrow 13000/48 = \underline{\underline{270'833 \text{ Kbps}}}$

4.6.7.- Canales físicos.

Cada portadora, ascendente y descendente, sustenta las estructuras de trama y multitramas TDMA que se acaban de describir.

La recurrencia de los intervalos en sus tramas, dentro de una portadora, establece cada canal físico, que está constituido por un par frecuencia-número de intervalo. Las frecuencias de los radiocanales se designan mediante un número entero, denominado Número Absoluto de Canal RF, ARFCN (*Absolute Radio Frequency Channel Number*).

Veremos ahora las distintas bandas de frecuencia:

- **P-GSM 900**, banda GSM Primaria, banda de frecuencias común en toda Europa, está constituida por las sub-bandas:

- Inferior (*l*) 890-915 MHz enlace ascendente MS \rightarrow BS
- Superior (*u*) 935-960 MHz enlace descendente BS \rightarrow MS

Se dispone de 124 radiocanales.

- **E-GSM 900**, banda GSM extendida, banda adicional habilitada en muchos países europeos tras la saturación de la banda primaria. Constituida por las sub-bandas:

- Inferior (*l*) 880-890 MHz enlace ascendente MS \rightarrow BS

- Superior (u) 925-935 MHz enlace descendente BS→MS

- **GSM-1800**, esta banda de frecuencias se había reservado para un futuro sistema de comunicaciones móviles personales denominado DCS-1800, pero el crecimiento del tráfico GSM ha hecho necesaria la utilización de esa banda para este sistema. Las sub-bandas de frecuencia son:

- Inferior (l) 1710-1785 MHz enlace ascendente MS→BS

- Superior (u) 1805-1880 MHz enlace descendente BS→MS

El número de radiocanales en GSM-1800 es el triple que en GSM-900: 372 (124x3). Esta mayor capacidad permitió la concesión de nuevas licencias, concretamente en España se adjudicó al operador Retevisión (Amena).

Si una BTS tiene una dotación de N radiocanales, puede ofrecer 8*N canales. De entre los radiocanales hay uno especial, denominado “radiocanal 0” o radiocanal baliza (*beacon*) B, cuyo intervalo TNO se utiliza para la conexión y vinculación a la red por parte de las MS.

Esta estructura del canal físico se utiliza en los enlaces ascendentes y descendentes, pero con dos diferencias con referencia a la estación móvil:

- 1) La portadora de recepción es 45 MHz superior a la de transmisión.
- 2) En emisión y recepción, los intervalos tienen el mismo número, pero hay un desplazamiento temporal entre ellos igual a 3 intervalos, de forma que toda MS transmite y recibe ráfagas en momentos diferentes. De este modo se evita el empleo del duplexor y, además, la MS puede supervisar el canal radio entre recepciones sucesivas.

Se han definido 5 tipos de ráfagas:

- Ráfaga normal NB (*Normal Burst*), se utiliza para transmitir información de los canales de tráfico y control, por ello es la que nos interesa en nuestro caso.

TB 3	1+57 bits datos cifrados	26 bits TS (sec.aprendizaje)	1+57 bits datos cifrados	TB 3
---------	-----------------------------	---------------------------------	-----------------------------	---------

Fig.34: Estructura ráfaga NB.

Cada campo de 57 bits corresponde a información de datos o voz codificada, de forma que cada ráfaga transmite 114 bits de información.

- Ráfaga de corrección de frecuencia FB (Frequency correction Burst), permite la sincronización de la frecuencia en el receptor móvil, indirectamente, la de su transmisor.
- Ráfaga de sincronización SB (Synchronization Burst), proporciona a la MS información para la adquisición de la trama temporal.
- Ráfaga de acceso AB (Access Burst), es un tiempo de guarda largo, para evitar la colisión con otras ráfagas ya que en el primer acceso la MS desconoce la temporización.
- Ráfaga de relleno DB (Dummy Burst)

Todas ellas, salvo la AB, constan de 148 bits, de los cuales 114 son de información y el resto de tara (*overhead bits*). Estos se utilizan para funciones auxiliares como codificación para el control de errores, ecualización, etc.

4.6.8.- Transmisión de datos.

En este proyecto lo que nos interesa es la transmisión de datos, por ello vamos a ver cómo se realiza en GSM. Cómo ya hemos visto en apartados anteriores, la

novedad de la Red de Datos de GSM es la incorporación del GIWU, éste desempeña una de las funciones que más nos interesan, la **adaptación de velocidad**, vamos a ver en que consiste.

GSM se trata de una red digital, para enviar una señal analógica como la voz es necesario someterla previamente a un proceso de conversión analógico - digital (muestreo de la señal, cuantificación y finalmente codificación) hasta convertirla en una secuencia de bits. En el caso de señales digitales, como los datos, no es necesario realizar este proceso previamente a su envío, sólo será necesario utilizar un adaptador de señal (**Adaptador para el servicio de datos**). [3][4]

Si el protocolo RLP es el utilizado a nivel de enlace entre el móvil y el GIWU en comunicaciones NT (No Transparentes), el nivel físico utilizado es el correspondiente a la modificación de la norma V.110 utilizado en N-ISDN para la conversión de interfaces con las normas Vds. usadas en el interfase R a una norma estándar utilizada en el interfase S.

En la norma V.110 definida por el CCITT se transmiten 80 bits, entre datos y señalización in band correspondiente al mapeo de los circuitos de control utilizados en el interface R. Su modificación respecto al definido por el CCITT se detalla a continuación y dependerá del tipo de comunicación establecida (T ó NT) así como del interfaz atravesado. Dichas variaciones son las siguientes (ver *Tabla 4*):

	<i>interface Um</i>	<i>interface A</i>
servicios T	V.110 para GSM (60 bits)	V.110 CCITT(80 bits)
servicios NT	V.110 modificado para GSM (60 bits)	V.110 CCITT modificado (80 bits)

Tabla 4: Normas para la transmisión de datos en GSM.

Pensemos que la conexión que tiene el GIWU con la MSC (ver Fig. 32 y 33) es mediante un canal MIC con canales de 64 Kbit/s para información de usuario. Así pues, se hace necesaria la **conversión de las velocidades** asíncronas de baja velocidad utilizadas por los usuarios a formatos síncronos y con la velocidad indicada y así hacer llegar los datos de usuario al GIWU. A su vez la conversión a un formato síncrono también se hace necesario para enviar la información en slots TDMA propios del GSM. En definitiva, siempre que se establece una conexión se inicia un proceso de sincronización entre MS y GIWU. En GSM distinguimos las siguientes conversiones de velocidad (en la Fig.36 se representa de forma gráfica el cambio de velocidad que tiene lugar en los diferentes escenarios):

- **Conversión RA0**, pasa la información de formato asíncrono a síncrono con la misma velocidad. La velocidad máxima de transmisión de datos en GSM se ha establecido en **9'6 Kbps**, es un valor pequeño si se compara con la de 64 Kbps que se puede alcanzar en la red fija. Se han previsto también servicios a velocidad mitad, 4'8 Kbps, y velocidad reducida, inferior o igual a 2'4 Kbps.



Fig.35: Conversión RA0

- **RA I/E**, convierte el formato síncrono anterior a la velocidad utilizada en la interfaz radio, ver *Tabla 5* para servicios transparentes (T):

Velocidad Síncrona	Velocidad en el interfaz radio
2.4 kbit/s	3.6 kbit/s
4.8 kbit/s	6 kbit/s
9.6 kbit/s	12 kbit/s

Tabla 5: Conversión de velocidades en el interfaz radio para servicios Transparentes.

Para servicios no transparentes (NT), la velocidad utilizada en el interfaz radio es 12 Kbit/s.

- RA1, para el caso de servicios transparentes (T), conversión a 8 ó 16 Kbit/s conocido como *velocidad intermedia*. Tan sólo la velocidad de 9600 bit/s. utiliza como velocidad intermedia los 16 Kbit/s.

RA1', para servicios no transparentes (NT), la conversión a velocidad Intermedia, pasa de los 12 Kbps a 16 Kbit/s.

- RA2 para lograr obtener 64 Kbit/s, i.e. un canal hacia el GIWU.

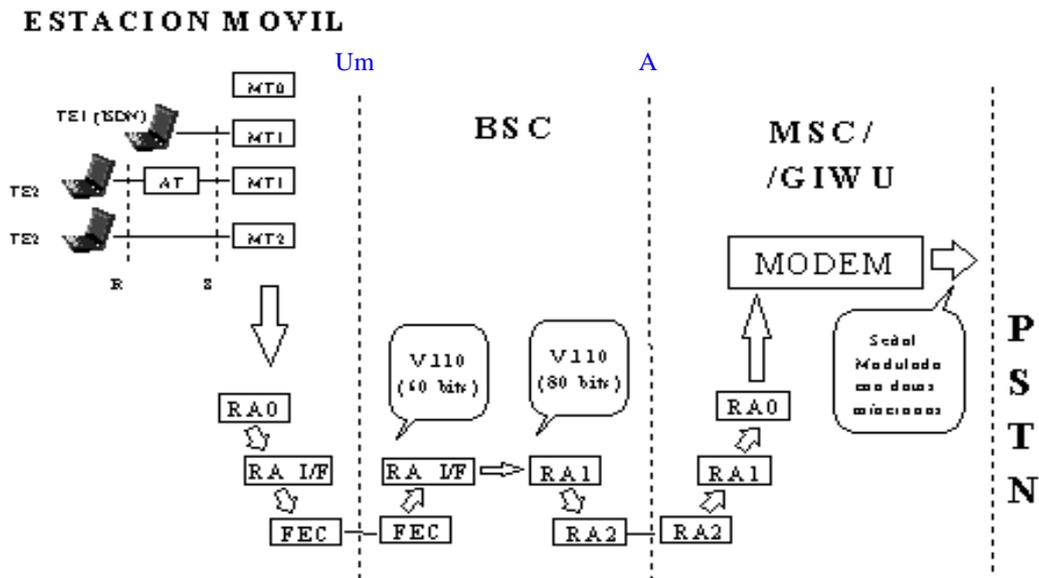


Fig.36: Esquema de adaptación de velocidad para servicios transparentes, para servicios no transparentes se emplea RA1'

Con las velocidades modificadas se obtienen grupos de bits 240 y 72 bits en el período de recurrencia de 20 mseg. en los casos primeros y tercero de la *Tabla 5*, y de 60 bits en el semiperíodo de 10 mseg. en el segundo caso de la tabla y en el caso de servicio NT. Los bits así obtenidos se someten a la acción de códigos convolucionales de diferente tasa para formar grupos de 456 o 228 bits, los cuales se transmiten a lo largo de 19 tramas a razón de 24 bits por intervalo de tiempo, siendo por lo tanto, la profundidad de entrelazado igual a 19.

4.6.9.- Ejemplo de servicios de datos ofrecidos por las operadoras.

[9] Como ejemplo práctico, vamos a ver que tipo de servicios de datos nos puede ofrecer una operadora de GSM, concretamente, **Telefónica Móviles**.

MoviStar Datos es el nombre comercial que engloba los servicios de datos y fax ofrecidos por Telefónica Móviles a través de su red MoviStar. En la actualidad, los servicios portadores y teleservicios ofrecidos comercialmente son los siguientes:

- Servicio asíncrono de datos en modo circuito

Este servicio permite la transmisión de datos asíncronos entre un terminal GSM y un equipo conectado a la red fija u otro terminal GSM. La velocidad máxima (física) soportada por la red GSM es de 9.600 bit/s.,

- Servicio síncrono de datos en modo circuito

Este servicio permite la transmisión de datos síncronos entre un terminal GSM y un equipo conectado a la red fija u otro terminal GSM. La velocidad máxima (física) soportada por la red GSM es de 9.600 bit/s

- Servicio de fax automático Grupo-3

El teleservicio de fax permite la transmisión y recepción de fax entre un terminal GSM. y un fax Grupo III convencional conectado a la red básica, u otro terminal GSM.

4.7.- GPRS

[4] [5] Las tradicionales redes GSM no se adaptan adecuadamente a las necesidades de transmisión de datos con terminales móviles ya que:

- las velocidades de transmisión son bajas (9'6 Kbps).
- las conexiones requieren un tiempo de establecimiento largo.
- no se puede estar permanentemente conectado.
- la facturación se realiza por tiempo de conexión.



Fig.37: Logo GPRS.

Por ello surge una nueva tecnología portadora denominada GPRS (*General Packet Radio Service*) que posibilita la transmisión de datos a través de la red móvil utilizando **conmutación de paquetes**, unificando el mundo IP con el mundo de la telefonía móvil, creándose así toda una red paralela a la red GSM y orientada exclusivamente a la transmisión de datos.

GPRS es una evolución de la red GSM, con la que comparte el rango de frecuencias, no conlleva grandes inversiones y reutiliza parte de las infraestructuras actuales de GSM. Por este motivo, GPRS tiene, desde sus inicios, la misma cobertura que la red GSM. GPRS es una tecnología que subsana las deficiencias de GSM. Es un paso intermedio a la tercera generación de móviles (3G), el famoso UMTS. Hay quien lo llama 2'5G o GSM fase 2+.

Para proporcionar una comunicación de datos móvil con gran eficiencia utiliza cuatro mecanismos:

- i. Esquemas de codificación mejorados respecto a los de GSM.
- ii. Posibilidad de asignación de varios intervalos de tiempo a una comunicación de datos. En GSM sólo se puede tener un canal asignado (un "timeslot"), sin embargo, en GPRS, se pueden tener varios canales asignados, tanto en el sentido de transmisión del móvil a la estación base como de la estación base al móvil. La velocidad de transmisión aumentará con el número de canales asignados. Además, GPRS permite el uso de esquemas de codificación de datos que permiten una velocidad de transferencia de datos mayor que en GSM.
- iii. Posibilidad de compartición de los recursos radio entre varios usuarios, mediante multiplexación dinámica.
- iv. Utilización de la conmutación de paquetes, tanto en la red como en el acceso radio.

Como consecuencia de estas funcionalidades el GPRS puede proporcionar a los usuarios:

- 1) Conectividad desde el teléfono móvil con redes de paquetes (IP, X.25), GPRS utiliza pasarelas, de forma que estas redes contemplan el móvil como un terminal IP más, quedando oculta para ellas la red GPRS.
- 2) Un servicio móvil de datos de gran eficiencia y con un caudal idóneo para soportar aplicaciones basadas en X.25 y TCP/IP.
- 3) Conectividad permanente con la red, eliminándose los tiempos de establecimiento de las llamadas.
- 4) Mejora del servicio de mensajería, superando la limitación de 160 caracteres del SMS/GSM y permitiendo servicios de mensajería multimedia MMS con mensajes de voz, texto, ...
- 5) Posibilidad de elección entre varios parámetros de calidad de servicio.
- 6) Facturación de los servicios por volumen de información intercambiada y no por tiempo.
- 7) Velocidad de transferencia de datos: mínimo 40 Kbps y un máximo de 115 Kbps por comunicación.

- 8) GPRS permite compartir cada canal por varios usuarios, un usuario sólo tiene asignado un canal cuando se está realmente transmitiendo datos, mejorando así la eficiencia en la utilización de los recursos de red. En GSM, cuando un usuario realiza una llamada se le asigna un canal de comunicación dedicado, y permanece asignado aunque no se envíen datos. Esto es una ventaja para las operadoras.

Los terminales GPRS cuentan con diversas prestaciones en función del número de canales que utilicen. Debido a esto, contaremos con terminales 2 + 1 (que significa dos canales para recibir información y un canal para el envío), 3 + 1, 4 + 1, etc. Actualmente ya existen en el mercado terminales que permiten transferir datos y mantener, al mismo tiempo, una llamada de voz. Existe una clasificación de tipos móvil según esta capacidad:

- *Clase A*: permite voz y datos simultáneamente.
- *Clase B*: permite voz y datos, pero puede degradarse la calidad de la conexión de datos.
- *Clase C*: permite voz o datos, sólo uno de los dos.

Como hemos visto, la red GPRS se sustenta sobre las infraestructuras de GSM, aunque requiere cambios importantes en el núcleo de la red, ya que la información que se intercambia es en forma de paquetes y no puede ser conmutada y encaminada por los MSC de GSM, por ello añade software a las centrales de conmutación e introduce dos nuevas entidades funcionales, los nodos **GSN** (*Gateway Support Node*):

- **SGSN** (*Serving GPRS Support Node*), para la gestión de la movilidad de los usuarios de GPRS y encaminamiento de paquetes.
- **GGSN** (*Gateway GPRS Support Node*), sirve de pasarela para conectar con otras redes externas de datos.

También el BSC de GSM requiere una ampliación funcional representada por la entidad de tratamiento de paquetes **PCU** (*Packet Control Unit*), asimismo se incorporan otras entidades que veremos en la estructura de la red GPRS.

En cuanto a la interfaz radio, se crean nuevos canales lógicos y estructuras de canales físicos para las transmisiones por paquetes, su señalización y control. Se crea un nuevo canal físico para paquetes, **PDCH** (*Packet Data Channel*), donde se alojan los nuevos canales lógicos del modo paquetes.

4.7.1.- Arquitectura de la red GPRS.

Siguiendo la misma metodología que para GSM, se describirá la arquitectura de la red GPRS en términos de entidades funcionales e interfaces. En la Fig.38 se representa la arquitectura de la Red GPRS.

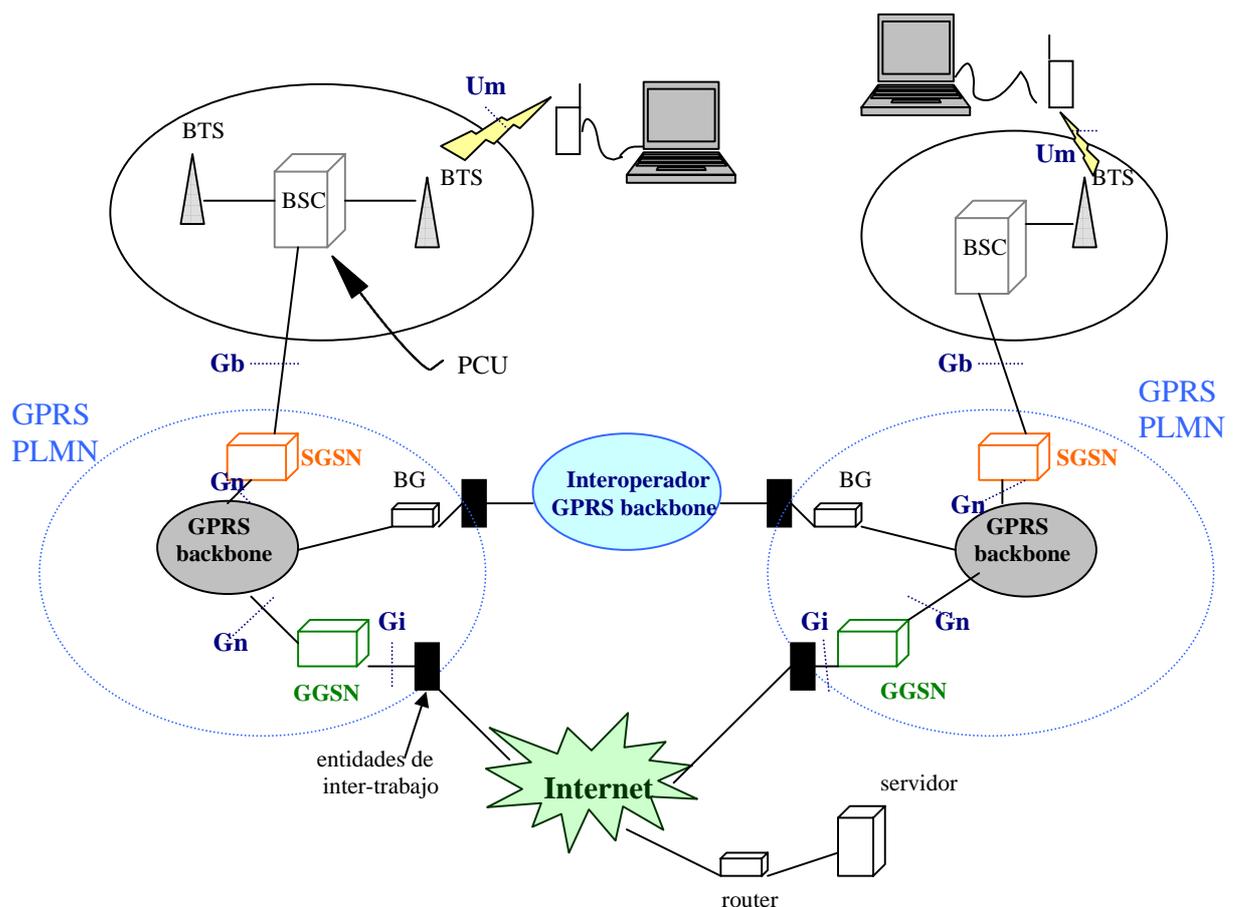


Fig.38: Estructura de la red GPRS.

Las **GPRS backbone** e **Interoperador GPRS backbone** son las redes de transmisión propias del operador de la PLMN (*Public Land Mobile Network*) y la de conexión a otras PLMN, respectivamente, pueden ser redes públicas de paquetes de datos, lo que permite limitar los costes de realización, o bien redes de datos de paquetes dedicada y optimizada para el soporte del servicio, que disminuye los retrasos de transmisión entre usuarios de la GPRS PLMN y usuarios de otra red. Son redes IP, y los flujos de información a su través van encapsulados en unas estructuras denominadas “*túneles*”. El hecho de que sean redes IP implica la necesidad de caracterizar a los SGSN y GGSN con direcciones IP.

A continuación se describen, de forma resumida, las principales funciones de las distintas entidades de la red GPRS.

- Controlador de Paquetes **PCU**.
Se encarga del tratamiento de los paquetes de datos y señalización, realiza la extracción/inserción de ramas entre los enlaces Abis asociados a los canales PDCH. Controla la asignación de los recursos radio a los móviles, realiza tareas de control de flujo y retransmisión de paquetes.

- Nodo servidor **SGSN** (*Serving GPRS Support Node*).
Es un nodo de conmutación de paquetes, ocupa el mismo nivel jerárquico que el MSC de GSM, realiza también funciones de gestión de la movilidad. Resumiendo sus funciones son:
 - gestión de la movilidad y la autenticación.
 - gestión de las sesión de datos (contextos, creación de enlaces lógicos temporales con los MS, solicitud de direcciones IP,...)
 - Transporte de los paquetes de datos hacia/desde las BTS/PCU de su área de servicio desde/hacia el GGSN.
 - Cifrado y compresión de los datos de usuario.

- Generación de ficheros de tarificación.

- Nodo **GGSN** (*Gateway GPRS Support Node*).
Es una pasarela entre la red de transmisión IP y las redes de datos externas que incorporan funciones de “cortafuegos” (*firewall*). Realiza la asignación de direcciones IP a los móviles. Desde el punto de vista de redes externas, es un encaminador (*router*) para las direcciones IP asignadas a los MS, hace “transparente” la red GPRS a dichas redes externas. Coopera con el SGSN en la gestión del contexto de datos. Mantiene la información de encaminamiento necesaria para pasar los paquetes al SGSN. Generan sus propios registros de tarificación, que como ocurre con los SGSN, se envían a CG. Además el GGSN debe incorporar la función de traducción de direcciones IP.
- Pasarela de tarificación: **CG** (*Charging Gateway*).
La tarificación del servicio de datos es función del origen y del destino. La CG recoge los ficheros de tarificación creados en los SGSN y GGSN, y los envía a la plataforma de tarificación. En GPRS puede haber varios criterios de tarificación (tarifa plana, según la calidad del servicio, según el volumen de información,...).
- Servidor de nombres de dominio: **DNS** (*Domain Name Server*).
Elemento específico de GPRS que traduce nombres lógicos de dominio en direcciones IP físicas. Lo consulta el SGSN para obtener la dirección del nodo GGSN.
- Cortafuegos (*Firewall*).
Son dispositivos con un SW específico que protegen la red de posibles ataques externos (*hackers*) que intentar acceder al núcleo de la red GPRS.
- Pasarela de frontera: **BG** (*Border Gateway*).

Es un encaminador (*router*) encargado de proporcionar un acceso directo, a una red de transmisión IP-GPRS de otro operador.

- Pasarela de interceptación legal: **LIG** (*Lawful Interception Gateway*). Elemento donde se almacena, durante un período de tiempo, el tráfico de usuarios bajo sospecha para que pueda ser consultado por la autoridad.
- **Um**: interfaz radio.
- **Gb**: interfaz red de acceso-núcleo de red.
- **Gn**: interfaz entre los nodos GSN.

Las entidades que tienen que ser añadidas, desde el punto de vista de la integración del servicio GPRS en la red GSM, son: GSN y GPRS register.

➤ **GSN** (*Gateway Support Node*).

Constituyen los nodos de soporte del servicio GPRS (son los SGSN y GGSN), pueden verse como entidades en las que está localizada gran parte de las funciones necesarias para soportar el GPRS.

En el GPRS PLMN (*Public Land Mobile Network*), generalmente hay más nodos GSN y la infraestructura que los conecta, denominada backbone network (ruta de enlace) o GPRS backbone, permite el routing de los paquetes transmitidos por los usuarios de la red o dirigidos a éstos, mediante “*tunelización*”. Dentro de este tenemos los nodos encargados de la localización de la estación móvil genérica GPRS:

- a) **HSN** (*Home Support Node*): nodo de la backbone network al que llegan los paquetes dirigidos al móvil en base al valor de su dirección de la red; además, cuando el móvil es localizado en el área gestionada por otro nodo de la ruta de enlace, el HSN vuelve a mandar hacia ese nodo los paquetes destinados al móvil.

- b) VSN (*Visited Support Node*): nodo de la backbone network en cuya área se encuentra normalmente el móvil.

A la backbone network también están conectadas las entidades de inter-trabajo, que garantizan la interconexión de la GPRS PLMN a otras redes de datos como, por ejemplo, la red Internet, las redes PSPDN (*Public Switched Packet Data Network*), las redes privadas de paquetes y otras. Las principales funciones desempeñadas por estas entidades son: la conversión de los protocolos y el mapeo de las direcciones de red de las entidades envueltas en la comunicación de datos.

➤ **GPRS register.**

Otra nueva entidad necesaria para el soporte del servicio es el GPRS register, que no tiene que verse necesariamente como una nueva entidad física, en cuanto que se puede pensar en ampliar el conjunto de las funciones de los VLR/HLR de la red GSM. Las funciones llevadas a cabo por un GPRS register son esencialmente las de memorizar informaciones relativas al servicio GPRS; en particular cada GPRS register contiene:

- Información necesaria para el routing de los paquetes dirigidos a un móvil GPRS; por ejemplo, la dirección de red del móvil para un determinado protocolo de red y el tipo de protocolo de red a cuya dirección se refiere.
- Información relativa al perfil de suscripción del abonado; por ejemplo, informaciones características de la calidad del servicio solicitada por el usuario (k.o.=*Quality Of Service*).

La llave de acceso a estas informaciones relativas al abonado genérico GPRS es el **IMSI** (*International Mobile Subscriber Identity*).

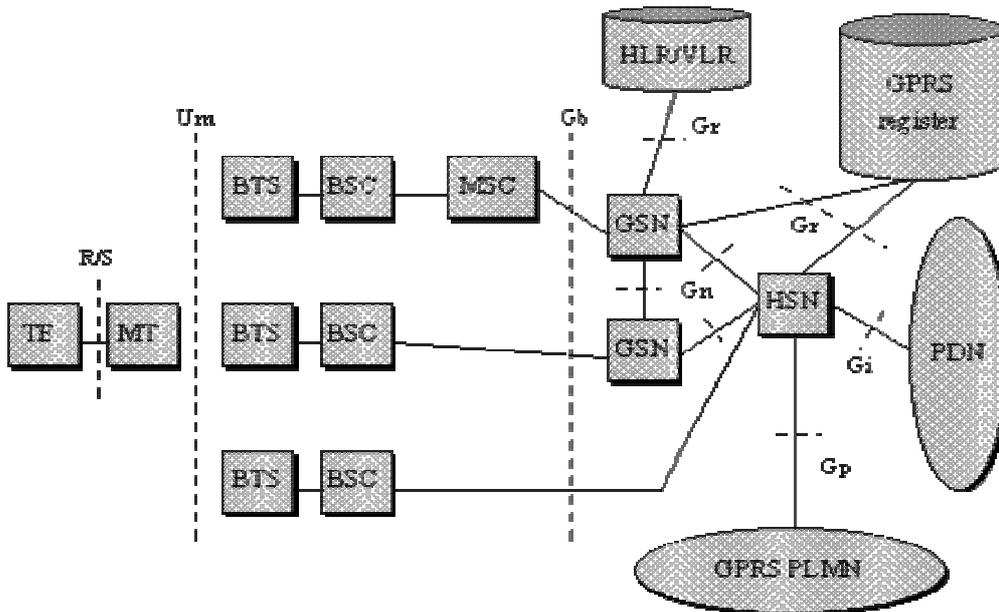


Fig.39: Modelo de red GPRS.

4.7.2.- El Protocolo GPRS

En la Fig.40 se muestran las torres de protocolos que se utilizan en las entidades funcionales básicas de GPRS junto con as tres interfaces correspondientes:

- Um: interfaz radio
- Gb: interfaz red de acceso-núcleo de red.
- Gn interfaz entre los nodos GSN

Se observa que en el BSS y en el SGSN hay funciones de retransmisión (*relay*) por ser entidades bifronteras.

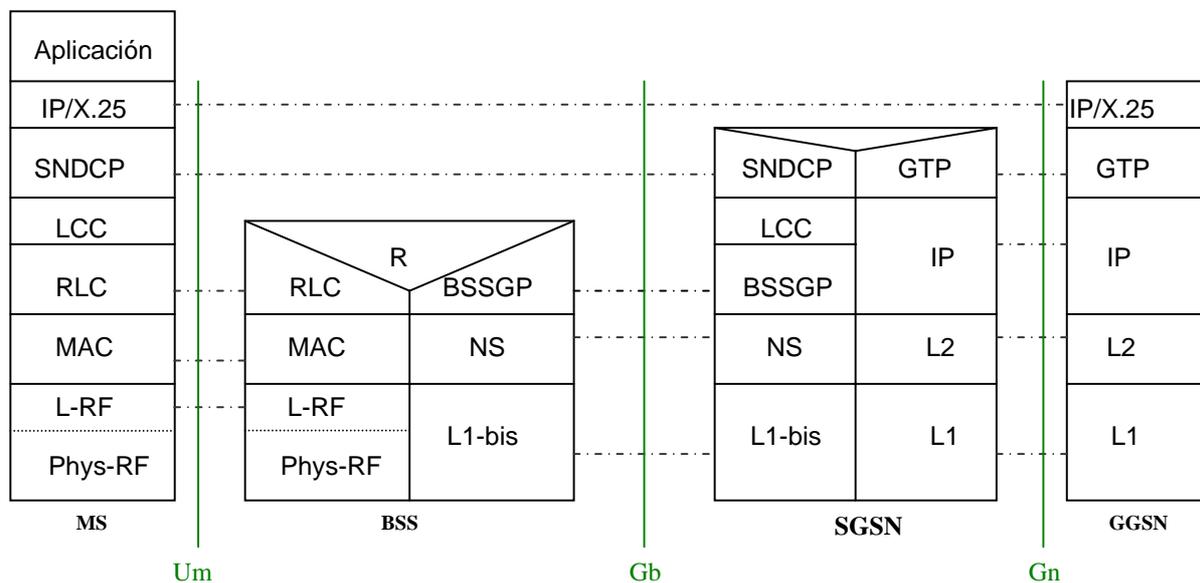


Fig.40: Arquitectura del protocolo GPRS.

Seguidamente se describen brevemente las funciones de las diferentes capas, comenzando por los protocolos existentes en la **interfaz Um**.

- **Capa Física (*Physical Layer*)**

Se subdivide en dos capas:

- *subcapa RF*: equivale a la capa física radio de GSM. Especifica la frecuencia de la portadora, estructura de los canales, modulación, características y requisitos de funcionamiento de los transmisores y receptores.
- *enlace físico*: se encarga de la codificación de canal, detección de errores, sincronización, procesos de reelección celular y actualización del área de encaminamiento, **RA (Routing Area)** (en GPRS el área total de servicio de la red se divide en Áreas de Encaminamiento), control de potencia,...

- **Capa MAC (*Medium Access Control*)**

Establece procedimientos que permiten a varias MS la compartición de los recursos radio, mediante *multiplexación temporal*.

- **Capa RLC (*Radio Link Control*)**

Proporciona un enlace radio fiable entre la MS y el BSS, para conseguir un transporte de datos libre de errores que preste servicio a las capas superiores. Se han previsto dos modos de transferencia de información: confirmado y no confirmado.

- **Capa LCC (*Logical Link Control*)**

Proporciona un enlace de datos fiable entre MS y SGSN a lo largo de los interfaces Um y Gb. La conexión a nivel LCC se mantiene siempre que la MS se desplace a través de células pertenecientes al mismo SGSN. El enlace lógico MS-SGSN se identifica la identidad TLLI (*Temporary Logical Link Identity*)

- **Capa SNDCP (*Sub-Network Dependent Convergence Protocol*)**

Este protocolo sirve de enlace entre los protocolos de red (IP o X.25) y LCC, de forma que dichos protocolos puedan usarse en GPRS de forma transparente para el usuario final. Todos los protocolos de red usan la misma entidad SNDCP, la cual realiza la multiplexación de los datos procedentes de las diferentes fuentes para su transferencia mediante los servicios de la capa LCC.

Ahora vamos a ver los protocolos existentes en la interfaz Gb, esta interfaz funciona con retransmisión de tramas (*frame relay*) lo cual permite la multiplexación dinámica de los usuarios.

- **Protocolo NS (*Network Service*)**

Este protocolo proporciona un servicio de red hacia las capas superiores, asegura la comunicación extremo a extremo con independencia de la red de transporte.

- **Protocolo BSSGP (BSS GPRS Protocol)**

Se encarga, básicamente, de encaminamiento y negociación de la calidad de servicio con el BSS. Sus funciones principales son:

- Proporcionar un enlace no orientado a conexión entre SGSN y BSS.
- Transferencia de datos en forma no confirmada entre SGSN y BSS.
- Control bidireccional del flujo de datos entre SGSN y BSS.
- Tratamiento de las peticiones de aviso (*paging*) a MS desde el SGSN hacia el BSS.
- Soporte al proceso de eliminación de mensajes antiguos almacenados en el BSS.

Por último trataremos el **interfaz Gn**, forma el núcleo de red (*Core Network*) del GPRS.

- Los protocolos **L1 y L2**

Dependen de la implementación y el suministrador elegidos por el operador y se encargan del transporte de los datagramas IP dentro del núcleo de red entre los nodos SGSN y GGSN.

- Los protocolos **TCP/IP**

Se utilizan para transportar las unidades de datos PDU (Protocol Data Unit) del nivel superior, GTP, a través de la red de transmisión; TCP se usa para datos tipo X.25 y UDP para datos de usuario IP y señalización en la interfaz Gn.

- El protocolo **GTP (GPRS Tunnelling Protocol)**

Permite la transferencia de múltiples protocolos entre nodo GSN a través de la red de transmisión, mediante encapsulado de los mismos. Controla y gestiona los “túneles” que se crean entre SGSN y GGSN en cada conexión.

4.7.3.- EVOLUCIÓN DE GPRS.

La evolución natural de GPRS es **UMTS** (*Universal Mobile Telephony System*) o telefonía de tercera generación (3G). UMTS requiere una nueva tecnología de radio, grandes inversiones en infraestructuras y una red de mayor capacidad, debido a que las velocidades de transferencia varían de 384 Kbps a 2 Mbps, así como nuevos terminales. Estos factores hacen preveer que UMTS tardará un cierto tiempo en establecerse y que GPRS, dada su mayor cobertura, mantendrá un uso elevado durante un tiempo.

Hay que destacar que ninguna tecnología es excluyente entre sí. La aparición de GPRS no excluye GSM; igualmente, UMTS no implica la anulación de GPRS, como ocurre, haciendo un símil, con las carreteras nacionales o comarcales y las autopistas y autovías; cada una cumple su función adecuándose a necesidades distintas. En un principio se podrá utilizar UMTS en las ciudades importantes y GPRS en zonas de menor necesidad de transmisión de datos.