

*A mon fill Arcadi, pel temps que li he demanat  
prestat per a la realització d'aquest llibre.*

*A.S.*

*A Alfonso, Carlos, Sergio, Juanjo e Iván.*

*E.T.*



Arcadi Segura i Navarro

Enrique Miguel Tébar Martínez

# **INTRODUCCIÓN A LAS COMUNICACIONES MÓVILES**



# **C O N T E N I D O**

---

<b>Prólogo.</b>	<b>3</b>
<b>Capítulo 1. Introducción.</b>	<b>5</b>
<b>Capítulo 2. Telefonía móvil analógica. La 1ª generación.</b>	<b>47</b>
<b>Capítulo 3. GSM. La 2ª generación.</b>	<b>55</b>
<b>Capítulo 4. Comunicaciones móviles por satélite.</b>	<b>139</b>
<b>Capítulo 5. Comunicaciones inalámbricas.</b>	<b>151</b>
<b>Capítulo 6. El entorno regulador de las comunicaciones móviles.</b>	<b>169</b>
<b>Anexo 1. Señalización C7.</b>	<b>185</b>
<b>Lista de figuras.</b>	<b>195</b>
<b>Glosario.</b>	<b>199</b>
<b>Bibliografía.</b>	<b>209</b>



## **Prólogo.**

Las comunicaciones móviles es claramente uno de los campos de las telecomunicaciones donde estamos viviendo día a día un mayor desarrollo y cambio.

El Área de Teoría de la Señal y Comunicaciones de la Universidad Miguel Hernández no se puede mostrar insensible a tales acontecimientos, y prueba de ello es la presente publicación. Con ella se pretende ofrecer al lector una completa visión de diferentes aspectos, como puede comprobar consultando el índice de la misma.

Pretende ser un buen complemento a las explicaciones de clase de la asignatura “Introducción a las comunicaciones móviles”, para la que está especialmente ideado. Se ha tratado de dar un repaso a la evolución de las comunicaciones móviles, centrándonos especialmente en la comunicación de voz.. En el primer capítulo se repasan temas básicos y comunes a este tipo de comunicaciones, pasando después en el capítulo 2 a describir brevemente las tecnologías analógicas. En GSM (capítulo 3) nos paramos con más detalle, por ser la tecnología predominante actualmente. Los capítulos 4 y 5 pretenden dar una iniciación a otras tecnologías presentes en el panorama actual como son las comunicaciones móviles por satélite y las comunicaciones inalámbricas. Por último, hemos considerado importante no finalizar la publicación sin dar un repaso en el capítulo 6 a la normativa española y europea en estos temas. Dejamos para una segunda publicación las tecnologías centradas en la transmisión de datos que utilizan conmutación de paquetes (GPRS y UMTS).

Tan solo nos queda esperar que esta publicación consiga los objetivos marcados y que sea mejorada en versiones posteriores, que serán necesarias debido a la continua necesidad de actualización de una materia tan cambiante día a día. Además, va por vosotros.

Saludos,

Los autores.



# Capítulo 1. Introducción .

<b>Capítulo 1. Introducción .</b>	<b>5</b>
<b>1.1 Resumen histórico.</b>	<b>6</b>
<b>1.2 Conceptos básicos.</b>	<b>12</b>
1.2.1 ONDAS DE ENERGÍA.	12
1.2.2 LAS ONDAS DE SONIDO.	13
1.2.3 LAS ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS.	13
1.2.4 PORTADORA DE SEÑAL.	13
1.2.5 ONDAS DE RADIO.	13
1.2.6 TRANSMISORES DE RADIO.	14
1.2.7 RECEPTORES DE RADIO.	15
<b>1.3 Redes móviles privadas.</b>	<b>16</b>
<b>1.4 Sistemas trunking o de concentración de enlaces.</b>	<b>16</b>
<b>1.5 Propagación a través del canal móvil.</b>	<b>17</b>
1.5.1 CARÁCTER CAMBIANTE DEL CANAL MÓVIL.	17
1.5.2 SISTEMAS DE BANDA ESTRECHA Y SISTEMAS DE BANDA ANCHA.	17
1.5.3 CARACTERIZACIÓN DEL CANAL MÓVIL EN BANDA ESTRECHA.	18
1.5.4 CARACTERIZACIÓN DEL CANAL MÓVIL EN BANDA ANCHA.	19
1.5.5 MODELOS DE PROPAGACIÓN.	19
<b>1.6 Estructura y acceso celular.</b>	<b>21</b>
1.6.1 INTRODUCCIÓN.	21
1.6.2 TÉCNICAS DE ACCESO.	22
1.6.3 DÚPLEX.	26
1.6.4 DIVERSIDAD.	27
1.6.5 CONMUTACIÓN.	29
1.6.6 NECESIDAD DE UNA ESTRUCTURA CELULAR.	30
1.6.7 PRINCIPIOS DE LA ESTRUCTURA CELULAR.	31
1.6.8 DEFINICIONES.	35
1.6.9 FLEXIBILIDAD DE LOS SISTEMAS CELULARES.	37
1.6.10 EL SISTEMA DE RADIOTELEFONÍA CELULAR.	39
1.6.11 LA RED CELULAR AL COMPLETO.	40
1.6.12 SISTEMAS ANALÓGICOS.	41
1.6.13 SISTEMAS DIGITALES.	41
<b>1.7 Tráfico.</b>	<b>42</b>
1.7.1 DEFINICIONES.	42
1.7.2 TEORÍA DEL TRÁFICO.	43

## 1.1 Resumen histórico.

La necesidad de comunicarse a distancia es casi tan antigua como la existencia del Hombre. Desde tiempos remotos, se han utilizado sistemas que permitían comunicar un mensaje a gran distancia y de forma rápida: las señales de humo, el sonido de los tambores o la reflexión de la luz forman parte de estos sistemas. Ahora bien, la distancia a que son capaces de transmitir estos sistemas es, a pesar de todo, bastante limitada. Por ello, a lo largo de la Historia se han ido inventando y desarrollando nuevos sistemas capaces de ampliar esas distancias. A estos sistemas se les conoce con el nombre genérico de *telecomunicaciones*.

En 1888 el científico alemán Heinrich Hertz descubrió la existencia de las ondas de radio. Siete años más tarde, Guglielmo Marconi, realizó con éxito la primera transmisión mediante las ondas de radio. En 1901, consiguió enviar una señal a través del océano Atlántico. Las retransmisiones dieron comienzo en 1906, cuando el inventor canadiense Reginald Fessenden logró por primera vez transmitir sonido.

La forma más sencilla de conseguir que dichas ondas transporten un mensaje consiste precisamente en interrumpirlas. Ésta es la técnica en la que se basa el código Morse, que codifica letras y números mediante combinaciones de señales cortas y largas, es decir, de interrupciones del flujo de corriente eléctrica. Las ondas de radio se utilizaron por primera vez para comunicar mensajes a finales del siglo XIX con el radiotelégrafo, y desde entonces se han seguido empleando intensamente en el ámbito de las comunicaciones militares.

Las primeras aplicaciones para el público en general se produjeron en el ámbito de las radiodifusión, primero del sonido (radio) y más tarde de las imágenes (televisión). Sin embargo, esta tecnología es mucho más simple que la utilizada en radiotelefonía, ya que el terminal (el aparato de radio o televisión) no es más que un receptor; mientras que en radiotelefonía el terminal es a la vez transmisor y receptor.

Al finalizar la Primera Guerra Mundial AT&T permitió las comunicaciones radiotelefónicas entre EE.UU. y Europa y Hawai.

En 1921 el Departamento de Policía de la ciudad de Detroit instaló un sistema de radioreceptores de 2 MHz en sus coches patrulla. Funcionaba como un sistema “one-way”, los receptores, situados en los vehículos recibían un mensaje tipo telegráfico, para que se pusieran en contacto con la Central mediante una llamada telefónica.

A lo largo de la década de los 30, se avanzó en las comunicaciones móviles con modulación AM primero y FM después, con grandes limitaciones en el número de canales disponibles.

El auge de los sistemas de radiocomunicaciones móviles se produjo después de la Segunda Guerra Mundial. La explotación comercial del primer servicio de telefonía móvil de carácter público, que permitía la interconexión a la RTB (red telefónica básica), comenzó oficialmente en St. Louis, Missouri, en 1946. En esta fecha, la FCC (Federal Communication Commite) autorizó a AT&T a operar en esta ciudad y en menos de un año, el servicio se extendió a más de 50 ciudades. El sistema funcionaba en la banda de 150 MHz y disponía de tres canales de voz con modulación FM, separados 120 KHz. Su arquitectura era de área extendida, un único y potente transmisor permitía cubrir una zona con un radio de más de 80 km., suficiente para cubrir un área metropolitana. La conmutación utilizada era manual, mediante un operador situado en las estaciones base. En Europa, el servicio comenzó pocos años después.

En 1948 se inició un servicio parecido con conmutación automática en Richarmond (Indiana).

El ancho de banda empleados en transmisión fue progresivamente estrechándose, conforme evolucionaba la tecnología, mejorando la eficiencia espectral. Se pasó de 120 KHz en los años 40 a unos 25 KHz en los 60, para un único canal de voz de 3 KHz.

En este periodo se consiguieron sistemas de radio con encaminamiento o direccionamiento automático. Al principio, los sistemas funcionaban en una única frecuencia fijada de antemano, por lo que cada usuario o grupo de usuarios disponía de ese canal para su uso (sistema de accesibilidad parcial). Más adelante, los sistemas empezaron a disponer de accesibilidad total, con lo que la capacidad total del sistema aumentó, ya que todos los canales podían ser accedidos y compartidos por cualquier usuario (trunked radio system). Además, se mejoró la eficiencia espectral a costa de incrementar la complejidad y coste de la estación móvil (cada estación ha de ser capaz sintonizar una amplia gama de frecuencias disponibles). En los primeros sistemas de acceso total, la elección del canal se realizaba de forma manual mediante escucha. En 1960 surgieron los primeros sistemas que automatizaban este proceso, mediante la inclusión de un tono especial de canal libre, al cual la unidad móvil se sintonizaba automáticamente.

A mediados de los 60, se generalizaron una serie de facilidades para el encaminamiento automático, la marcación directa y el servicio "full-duplex". Hasta entonces, los sistemas funcionaban en semi-duplex, mediante PTT (Push to Talk), ya que en las conexiones full-duplex se necesitaba el doble de ancho de banda. En 1964 se comercializó este servicio en EE.UU. bajo las siglas IMTS (Improved Mobile Telephone System), siendo la culminación de tres décadas de desarrollo del FM analógico y fue el precursor de la telefonía móvil analógica.

Anteriormente, en los últimos años de la década de los 40, ingenieros de los Bell Laboratories, dirigidos por D.H. Ring, en un trabajo no publicado, idearon las primeras bases de la radio celular. Según el estudio, mediante la utilización de pequeños transmisores de baja potencia, que cubrían pequeñas células, y mediante una eficiente reutilización de frecuencias, se conseguía incrementar, de forma substancial, la capacidad de tráfico telefónico.

En los 60 se realizaron las primeras pruebas en laboratorio, demostrándose que el principio celular podría funcionar. Así, en 1964 y 1969 aparecieron dos nuevos prototipos de sistemas: el MJ, que operaba a 150 MHz, y el MK, a 450 MHz. Los dos sistemas utilizaban pequeñas células, cada una de ellas con una estación base trabajando a distintas frecuencias. Sin embargo, no contaban con ningún mecanismo de traspaso de llamadas entre células vecinas, con lo que cuando un usuario pasaba del área de influencia de una a otra, la llamada se caía. En Alemania aparecieron dos sistemas equivalentes, llamados A y B, este último con dos variedades de operación B1 y B2.

A finales de los 60, se realizan las primeras pruebas de campo con dos sistemas que sí contemplaban la posibilidad de mantener la conversación cuando un móvil cambiaba de célula: el AMPS (Advanced Mobile Telephone System) en Chicago y el ARTS (American Radio Telephone Service) en Washington DC. Este último permitía incluso el uso de equipos portátiles de mano. El FCC unificó ambas tecnologías en un único estándar llamado AMPS, y que no fue puesto en servicio hasta el 1983.

En 1978 se inauguró en Japón el primer servicio comercial con arquitectura celular el NAMTS (Nipon Advanced Mobile Telephone System).

El origen del éxito de los sistemas de telefonía móvil celular hay que buscarlo en los países del norte de Europa (Suecia, Noruega, Finlandia y Dinamarca). En 1981 los países escandinavos consiguieron ser líderes en penetración de la telefonía móvil (número de teléfonos móviles por cada mil habitantes) gracias a un sistema propio, el NMT (Nordic Mobile Telephony System), desarrollado por Ericsson Radio Systems. Hasta mediados de los 90, este sistema y sus sucesores fueron los más utilizados, no sólo en los países nórdicos, sino también en España, Túnez, Arabia Saudí, Holanda, Austria e Irlanda. En España el servicio de telefonía móvil automática lo empieza a ofrecer Telefónica en 1982 en la banda de 450 MHz, utilizando el sistema NMT.

El gobierno británico forzó a desarrollar un estándar propio a partir del AMPS, ignorando las ventajas del NMT. El sistema se denominó TACS (Total Access Communications System) y empezó a dar servicio, en la banda de 900 MHz, en 1985 en Gran Bretaña, así como en España e Irlanda, entre otros.

El desarrollo espectacular de la microelectrónica permitió, a partir de los años 80, la reducción del tamaño de los terminales móviles, y sus requerimientos de consumo, hasta conseguir que fueran portátiles o de bolsillo.

Multitud de estándares incompatibles comenzaron a surgir en distintos países, debido a que el mercado de la telefonía móvil era exclusivamente de ámbito nacional. Incluso, en algunos países llegaron a coexistir distintos sistemas o versiones incompatibles entre sí.

Las frecuencias a utilizar por la telefonía móvil en Europa fueron acordadas en la WARC (World Administrative Radio Conference) celebrada en 1979. En esta misma conferencia se recomendó la existencia de grupos internacionales de trabajo con el fin de llegar a un estándar común en el futuro. El hecho de establecer un único estándar supone ventajas tanto para los operadores como para los usuarios. El precio de los equipos se reduce notablemente al entrar en economías de escala, fomentando una mayor demanda por parte de los usuarios y mayores márgenes de beneficios para los operadores. Además, la compatibilidad de equipos permite una mayor movilidad del usuario.

También hay que tener en cuenta, que la demanda potencial para los servicios móviles, aunque estaba siendo sistemáticamente subestimada, era mayor que la capacidad de las redes analógicas existentes.

El problema de la capacidad fue solucionado con la introducción de la tecnología digital, pero quedaba por resolver la cuestión de la incompatibilidad. Para ello se creó en 1982 un sistema digital paneuropeo basado en las recomendaciones de un organismo de normalización denominado *GSM* (Groupe Spécial Mobile), integrado en la CEPT (Conférence des Administrations Européennes des Postes et Télécommunications). El cometido esencial de este organismo era redactar una serie de especificaciones o normas para la creación de un sistema europeo de radiocomunicaciones móviles, basado en la reserva de una banda de frecuencias en torno a los 900 MHz.

Gracias al sistema *GSM*, cualquier abonado puede utilizar su teléfono móvil en toda Europa. La tecnología empleada permite, pues, el *seguimiento*<sup>1</sup> automático de las llamadas. Si el cliente se lleva su teléfono móvil a un país distinto al suyo, en el momento en que lo encienda, el sistema de dicho país actualizará en el de su país de origen la información relativa a la nueva localización.

En 1990, a petición del Reino Unido, el grupo de normalización de la CEPT aceptó realizar una versión del *GSM* adaptada a la banda de frecuencias de los 1800 MHz. El objetivo de esta variante, conocida como *Digital Cellular System 1800 (DCS 1800)*, es aumentar la capacidad de los sistemas digitales en las áreas urbanas.

La elaboración de la normativa *GSM* duró casi un decenio. En 1986 se creó el denominado Núcleo Permanente para coordinar las diferentes tareas y actualizar las recomendaciones propuestas por el grupo. Dos años después nació el Instituto Europeo de Normas de Telecomunicación (ETSI), el cual asumió la mayoría de las competencias de la CEPT en materia de normalización.

El término *GSM* ha pasado a ser el nombre comercial del sistema digital paneuropeo de los 900 MHz. En este contexto, las siglas significan *Global Standard for Mobile Communications*, y las recomendaciones *GSM* se denominan *Especificaciones técnicas GSM*.

---

<sup>1</sup> Se denomina *seguimiento* a la posibilidad de que el usuario pueda utilizar el servicio automático de telefonía móvil cuando pasa de una red a otra.

En 1987, dieciocho países europeos firmaron un acuerdo, el denominado *MoU (Memorandum of Understanding) GSM*, que establecía las pautas de actuación en cuestiones tales como compras de infraestructura, implantación de redes, compatibilidad de los planes de numeración y encaminamiento, introducción del servicio, armonización de los principios tarifarios y definición de los procedimientos contables. Al acuerdo se sumaron posteriormente otros operadores y hubo de modificarse para dar cabida a países que no eran miembros de la CEPT. Como dato significativo hay que señalar que en abril de 1993 más de cincuenta países de todo el mundo contaban con sistemas *GSM* o tenían prevista su implantación a corto plazo. De este modo, lo que comenzó como una iniciativa restringida a un solo continente, Europa, ha adquirido proporciones casi universales. Hay que señalar por último que los operadores del sistema DCS1800 disponen de su propio organismo de gestión, que mantiene una estrecha relación con el *MoU GSM*.

En España, Telefónica (bajo el nombre comercial de Movistar) y Airtel comenzaron a dar servicio GSM en la banda de 900 MHz en 1995. En 1998 se sacaron a concurso tres nuevas licencias de DCS 1800 MHz, dos asignadas a los operadores existentes y una para un nuevo operador: Amena, que empezó a operar comercialmente en enero de 1999.

Diversos proyectos de telefonía móvil vía satélite están en lanzamiento o en explotación comercial: Globalstar, Inmarsat, Iridium, Teledesic, Odyssey.

La demanda de nuevos servicios de gran ancho de banda y la convergencia entre telefonía móvil e internet hacen necesarios nuevas tecnologías orientadas a datos y no como hasta ahora, en que la voz era la gran protagonista.

ITU-T estableció en los 90 las directrices de la normativa internacional en el denominado FPLMTS (Future Land Mobile Telecommunication Systems) que pasó a llamarse en 1997 IMT-2000 (International Mobile Telecom 2000). Con la idea de unificar al máximo la evolución de los estándares a nivel mundial, diversas organizaciones y otros organismos acuerdan cooperar en la producción de un completo set de “Technical Specifications for a 3rd Generation Mobile System” basado en la evolución de los GSM core networks y de las tecnologías de acceso radio soportadas por los partnerships. El proyecto se denomina “Third Generation Partnership Project” y es conocido por el acrónimo “3GPP”. El 3GPP tiene como objetivo cerrar y mantener las especificaciones técnicas ( es una entidad no jurídica sin ánimo de lucro). Ya está claro que IMT-2000 será una familia de sistemas entre los cuales estará también la solución UMTS europea (Universal Mobile Telecommunications Services).

Desde el 2001, muchos de los operadores europeos ofrecen servicios de GPRS (General Packet Radio Service), estándar que nace como evolución de GSM para permitir nuevos servicios de datos, permitiendo velocidades de hasta 114 Kbits/seg y con técnicas de conmutación de paquetes.

Desde el 2001, el operador japonés Docomo ofrece el estándar IMT-2000 japonés a sus usuarios. Durante los años 2000 y 2001 hemos asistido a la subasta o concurso de licencias de UMTS en la mayoría de países europeos. En España se asignaron en el 2000 cuatro licencias, tres de ellas a los operadores existentes y la cuarta a un nuevo proyecto: Xfera.

Se empieza a hablar de la cuarta generación de móviles, en la que convergerán los diversos estándares IMT-2000 ampliando los servicios.

Sistema	Comienzo operación	Separación de canales (KHz)	Banda (MHz)	Nº canales	Características más relevantes	Países
NAMTS	1978	25	900	600	Ampliables a 2400 canales.	Japón , Kuwait.
NMT-450	1981	25	450	180	Baja capacidad de canal. Buen radio de cobertura. Ideal para áreas rurales.	Países Escandinavos, Austria, Benelux, China, Francia, Islandia, Indonesia, Malasia, Omán, Arabia Saudí, España, Suiza, Tailandia, Túnez, Turquía.
AMPS	1983	30	850	832	Entornos urbanos. Células menores que NMT.	EE.UU., América Central y del Sur, Australia, Canadá, Hong Kong, Emiratos Árabes Unidos, Malta, España.
C-450 y 900	1984	10	450	537 (cada uno)	Señalización digital (C-900) y cifrado de voz.	Alemania y Portugal.
TACS	1985	25	900	1000	50% más de capacidad que AMPS. Menor tamaño de células.	Reino Unido, China, Irlanda, Hong Kong, Emiratos Árabes Unidos. Malta, España.
ETACS		25	900	640 más	Ampliación TACS.	Reino Unido, China, Irlanda, Hong Kong, Emiratos Árabes Unidos. Malta, España.
NMT-900	1986	12.5	900	1999	Urbano.	Países Escandinavos, Austria, Benelux, Islandia, Suiza.
Radiocom 2000		12.5	200 y 400	1200 y 512	Banda 200 rural y de 400 urbana (París)	Francia.
RMTS		25	450	200		Italia.
GSM	1991	200 (*)	900	124 (992 TDMA)	Digital.. Estándar paneruropeo.	Europa, Sudáfrica, Nueva Zelanda, Austria y otros.
DCS-1800	1994	200 (*)	1800	375 (3000 TDMA)	Digital.. Estándar paneruropeo	Europa, Sudáfrica, Nueva Zelanda, Austria y otros.

Tabla 1.1. Evolución histórica de los sistemas de comunicaciones móviles.

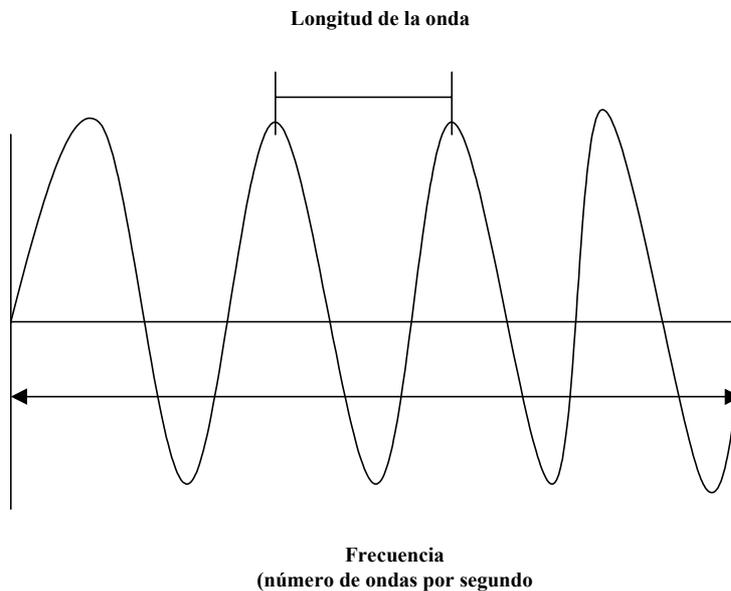
## 1.2 Conceptos básicos.

Los sistemas de comunicaciones modernos se basan en la teoría de las ondas de energía y, más concretamente, en las ondas de radio y en las de sonido.

### 1.2.1 ONDAS DE ENERGÍA.

La energía se desplaza en forma de ondas a nuestro alrededor. Es preciso recordar que es únicamente la energía lo que se desplaza, aunque a veces las ondas energéticas lo hacen a través de la materia. Cuando, por ejemplo, arrojamos una piedra al agua, se producen pequeñas ondas que se van alejando concéntricamente del punto en que ésta ha caído, lo cual no quiere decir que el agua se desplace con ellas; el agua de la superficie tan sólo experimenta un ligero movimiento sinuoso en vertical y lo que realmente se desplaza es la energía.

Cada onda se compone de un aumento y una disminución regulares de la energía, de modo que la distancia que media entre dos puntos de máxima energía sucesivos es lo que se denomina longitud de onda, mientras que el número de veces que se produce un máximo de energía en un segundo constituye la frecuencia de la onda. Así pues, la frecuencia es una medida del “ritmo” con el que varía la energía de la onda. La relación entre frecuencia y longitud de onda es, por lo tanto, inversamente proporcional, es decir, cuanto mayor sea la frecuencia de la onda de radio, menor será su longitud, y, al contrario, cuanto menor sea su frecuencia, mayor será su longitud.



*Figura 1.2. Frecuencia y longitud de onda.*

### **1.2.2 LAS ONDAS DE SONIDO.**

Las ondas de sonido son vibraciones de la materia y sólo pueden desplazarse a través de ella: aire, agua, cristal, metal, o un ladrillo; es decir, cualquier cuerpo que pueda experimentar vibraciones. Una onda de sonido es una cadena de moléculas (diminutas partículas que componen el agua, el aire o la materia sólida) que vibran. Cuando vibra un altavoz, por ejemplo, también lo hacen las moléculas de aire que hay a su alrededor. Sin embargo, y al igual que ocurre con las ondas concéntricas producidas por la piedra del ejemplo anterior, las moléculas en sí no se desplazan con el sonido sino que se limitan a transmitir la energía.

Así pues, el sonido es nuestra percepción de dicha vibración. Si algo vibra a una velocidad superior a veinte veces por segundo (la nota más grave perceptible por el oído humano), podremos oírlo; si dicha velocidad de vibración aumenta hasta 20.000 veces por segundo, el oído humano no podrá detectar sonido alguno.

### **1.2.3 LAS ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS.**

Las ondas luminosas y de radio forman parte de la familia de ondas electromagnéticas. Con frecuencia, estas formas móviles de energía reciben la denominación de *rayos* (los caloríficos, por ejemplo, también pertenecen a dicha familia). Las ondas electromagnéticas, no están formadas por moléculas, sino por campos eléctricos y magnético. Las ondas electromagnéticas pueden existir incluso en el vacío y pueden también desplazarse a través de la atmósfera.

Al igual que las ondas de sonido, toda onda electromagnética tiene una determinada frecuencia que, dependiendo del tipo de que se trate, pueden ir de los 100.000 a los 300.000.000.000.000 Hercios.

La principal diferencia entre las ondas de luz y las de sonido es la frecuencia: las ondas electromagnéticas se desplazan literalmente a la velocidad de la luz y las de sonido lo hacen a una millonésima parte de dicha velocidad.

### **1.2.4 PORTADORA DE SEÑAL.**

Cuando se desplazan por el espacio, las ondas pueden transportar información. Las ondas constantes (como las de un rayo luminoso, por ejemplo) no pueden transportarla, a menos que se interrumpa dicho rayo o se modifique su intensidad. Este es el fundamento físico de todas las comunicaciones basadas en ondas.

### **1.2.5 ONDAS DE RADIO.**

Las ondas de radio pertenecen a la familia de las ondas electromagnéticas, que están compuestas por campos eléctricos y magnéticos que varían. Todas las ondas electromagnéticas se desplazan por el aire y por el espacio a la velocidad de la luz, que es de unos 300.000 kilómetros por segundo aproximadamente. Al igual que todas las demás ondas, las de radio tienen una frecuencia (entre 100 KHz y 1.000 Mhz) y una longitud características.

Las ondas de radio pueden transmitirse en varias bandas que suelen denominarse de *onda larga*, *onda media*, *onda corta*, *frecuencia muy alta (VHF)* y *frecuencia ultra-alta (UHF)*. Cada banda se compone de un espectro de frecuencias de radio o longitudes de onda, y cada emisora o canal tiene su propia frecuencia o longitud de onda dentro de una determinada banda. En el dial de un sintonizador de radio, las emisoras pueden aparecer representadas en metros (que indican la longitud de la onda portadora) o en hercios (que indican su frecuencia).

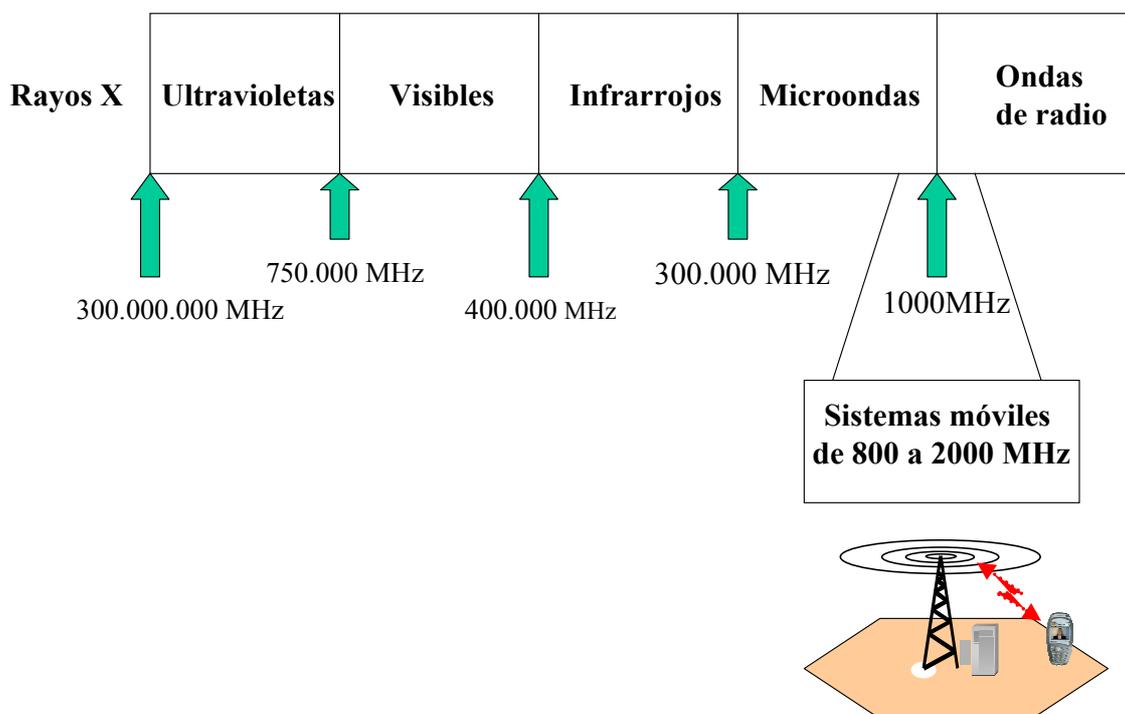


Figura.1.3. Bandas de ondas electromagnéticas.

Las frecuencias de radio son tan altas que se representan en kilohercios (kHz) o en megahercios (MHz). Las bandas de onda larga, media y corta transmiten en *AM*, mientras que las de frecuencia muy alta (*VHF*) lo hacen en *FM*. Las redes analógicas europeas y norteamericanas convencionales y todas las redes digitales nuevas operan en *UHF* cuyos espectro de frecuencias es similar al de la televisión.

### **1.2.6 TRANSMISORES DE RADIO.**

Las ondas de radio se producen al hacer pasar un campo eléctrico a través de la antena del transmisor. Dicho campo modifica los niveles energéticos de los electrones de los átomos de la antena metálica, con lo que se produce la consiguiente emisión de ondas de radio. Los transmisores de radio emiten ondas de radio moduladas, es decir, ondas en las que la señal de voz original se superpone a la onda de radio, de modo que ésta “transporte” (sea *portadora* de) de la voz .

La onda de radio que transporta la señal de voz se denomina *onda portadora* y la produce una señal portadora de radiofrecuencia, es decir, un campo eléctrico generado por un mecanismo denominado oscilador. La frecuencia de una señal de radiofrecuencia es constante y muy superior al espectro de frecuencias de la señal que transporta.

Tanto la señal de sonido procedente del micrófono como la señal portadora de radiofrecuencia generada por el oscilador se amplifican (es decir, se aumenta su intensidad) y se combinan en el modulador del transmisor. A continuación, la señal modulada pasa por un potente amplificador que la envía a la antena del transmisor. Una antena de radio transmite varias ondas portadoras con diferentes frecuencias, y cada una de ellas transporta una señal de sonido distinta.

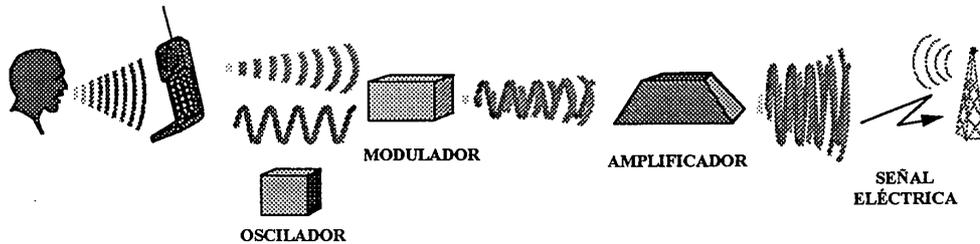


Figura 1.4. Transmisor de radio.

### 1.2.7 RECEPTORES DE RADIO.

Básicamente, un receptor de radio es un transmisor que funciona a la inversa. Las ondas de radio llegan a la antena conectada al receptor y alteran los niveles energéticos de los átomos del metal que, como consecuencia, generan débiles señales portadoras eléctricas en la antena. A continuación, el receptor selecciona la señal portadora de la estación o canal que corresponda, extrae la señal de sonido de la señal portadora y la envía a un amplificador conectado a un altavoz que reproduce el sonido amplificado.



Figura 1.5. Receptor de radio.

## 1.3 Redes móviles privadas.

Se trata de redes que se caracterizan por poseer una cobertura básicamente local y no estar conectadas a la red telefónica pública conmutada. Suelen funcionar en modo simplex, y lo normal es que se compongan de una estación base y varias estaciones móviles. Cada usuario de la red tiene asignada una frecuencia fija, y la estación base se encargará de interconectar a los usuarios entre sí, pudiendo ser la estación base un usuario más de la red (ejemplo: red de taxis).

Un modo de configuración bastante frecuente en este tipo de redes es el modo *semidúplex*: la base se configura en modo dúplex y los terminales son simplex, aunque la canalización debe ser dúplex. La justificación de este modo es el siguiente: La señal procedente de cualquier terminal móvil, si llega con un nivel adecuado a la estación base, se amplificará y retransmitirá, por lo que todo usuario está enterado en cada momento de cualquier conversación que se produce en el canal al que está sintonizado.

Un factor importante en este tipo de redes es la facilidad para compartir canales entre varias redes relativamente cercanas, se inserta en la propia señal una serie de códigos propios de cada red, denominados *subtonos de apertura*, gracias a los cuales la estación base es capaz de diferenciar si el terminal que transmite proviene de su red o de una vecina. Existen 38 tonos posibles que se insertan en la señal vocal previamente a la modulación. Ocupan una banda de frecuencias por debajo de los 300 Hz (entre 67 y 250'3 Hz), para no interferir con las señales vocales. A esta señalización se le denomina *señalización por canal asociado*.

## 1.4 Sistemas trunking o de concentración de enlaces.

El concepto de trunking surge como respuesta a la congestión del espectro radioeléctrico, un recurso público pero limitado, por lo que el uso que se hace de él no puede realizarse sin una planificación previa y un control estricto.

Entendemos como red trunking aquella en la que los usuarios no tienen un canal fijo asignado, sino que tiene lugar una compartición de canales. Mediante este sistema aumentamos la eficiencia, ya que no es necesario que cada usuario tenga asignado un canal de forma estática, sino que la asignación se realizará de forma dinámica. Como inconveniente, surge la posibilidad de bloqueo (no poder asignar un canal a un usuario al no haber ninguno disponible). Además la estación (o estaciones) base deben realizar una función más: la asignación de canal al usuario cada vez que éste pretende realizar una comunicación.

Los sistemas de telefonía móvil son, por tanto, redes trunking. En estos sistemas será necesario, como veremos más adelante, la reutilización de frecuencias en zonas suficientemente alejadas para que el nivel de interferencia sea aceptable.

## 1.5 Propagación a través del canal móvil.

### **1.5.1 CARÁCTER CAMBIANTE DEL CANAL MÓVIL.**

Una de las principales singularidades que caracterizan a las comunicaciones móviles es el carácter cambiante del canal. Ello se debe a que, en comunicaciones móviles, la propagación radioeléctrica tiene lugar a través de un medio que experimenta variaciones aleatorias en sus características físicas, las cuales afectan a la intensidad de campo de la señal, por lo que los valores de campo presentarán fluctuaciones tanto a lo largo de puntos equidistantes del transmisor (variaciones con la ubicación) como con el tiempo (variaciones temporales).

En cualquier sistema de comunicaciones móviles, además de la ganancia o pérdida de señal producida por el acercamiento o alejamiento del móvil respecto de la base (ecuación de pérdidas), aparecen numerosos efectos influyentes en la propagación radioeléctrica, a los que denominaremos difusores o *scatterers*: edificios, montañas, coches, personas, etc. En la antena del móvil o de la base se recibirán múltiples contribuciones o réplicas de la señal transmitida que habrán sufrido distintos procesos de scattering y difracción. Este efecto es conocido como *efecto multicamino* o *multipath*. Debido a la diferencia en los caminos recorridos por cada una de las contribuciones, éstas llegarán a la antena del receptor con ángulos de incidencia, atenuación, desfases y retardos de propagación diferentes.

El movimiento del móvil y de los elementos difusores provoca que las características del canal varíen aleatoriamente con el tiempo, conformando así un canal de transmisión *complejo cronovariable*. De esta forma, las contribuciones de la señal recibida en determinados instantes pueden ocasionar una interferencia constructiva en unos casos, y destructiva en otros, en función de las amplitudes y desfases que posean dichas contribuciones. Esto provoca que la potencia de la señal recibida no sea constante, sino que varíe con el tiempo, produciéndose desvanecimientos o *fading*.

### **1.5.2 SISTEMAS DE BANDA ESTRECHA Y SISTEMAS DE BANDA ANCHA.**

En general, los sistemas de comunicaciones pueden ser ampliamente clasificados en sistemas de banda estrecha (*narrowband*) y sistemas de banda ancha (*wideband*). Una señal puede considerarse de banda estrecha, cuando la banda sobre la que se extienden sus componentes frecuenciales es pequeña en comparación con la frecuencia de la portadora.

Así, en comunicaciones móviles, cuando la señal que se transmite posee un determinado ancho de banda, el multicamino influye de forma desigual sobre las distintas frecuencias del ancho de banda. Se denomina *ancho de banda de coherencia*, al ancho de banda dentro del cual, el efecto multicamino afecta por igual a todas las componentes frecuenciales. Se dice entonces, que un sistema de comunicaciones móviles es de banda estrecha, cuando el ancho de banda de la señal a transmitir es menor que el ancho de banda de coherencia del canal. En caso contrario, se considera que el sistema de comunicaciones móviles es de banda ancha.

**1.5.3 CARACTERIZACIÓN DEL CANAL MÓVIL EN BANDA ESTRECHA.**

En este tipo de sistemas, dado que el ancho de banda de la señal es suficientemente pequeño como para considerar que el canal producirá el mismo efecto sobre todo el espectro, podremos hablar de un *desvanecimiento plano* y de un *ensanchamiento Doppler*, que dependerá de la velocidad absoluta del móvil  $v$  y de la longitud de la señal  $\lambda$ , mediante la ecuación:

$$f_d = \frac{v}{\lambda}$$

Así para la señal de la figura 1.6 se obtiene una frecuencia Doppler de 46'29 Hz (figura 1.7).

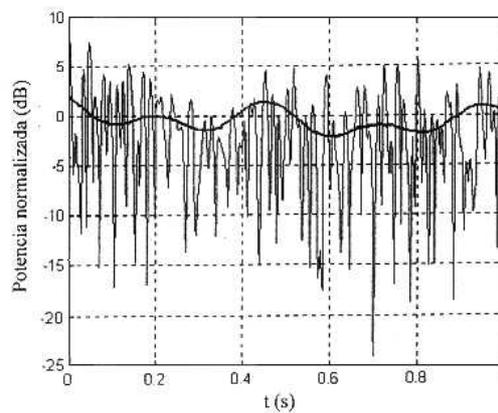


Figura 1.6. Nivel de señal recibida en un móvil para una  $v=50$  km/h con una  $f_c=1$  GHz y un  $t_{obs}=1$  sg.

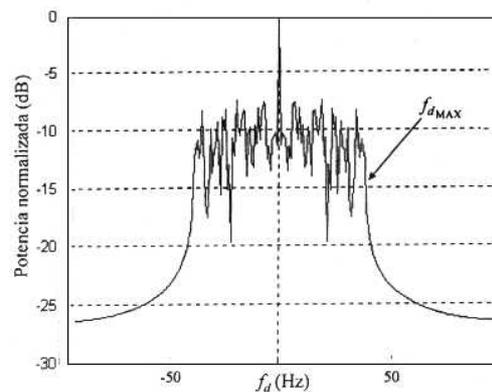


Figura 1.7. Espectro correspondiente a la señal de la figura 1.6.

Así pues, los desvanecimientos temporales producen en el dominio frecuencial un cierto ensanchamiento de la señal, cuyo valor máximo dependerá de la frecuencia del móvil. El canal móvil es por tanto *dispersivo en frecuencia*.

Otro concepto relacionado con la frecuencia Doppler y la variabilidad del canal es el *tiempo de coherencia*, o intervalo de tiempo para el cual el canal móvil permanece prácticamente invariante.

### **1.5.4 CARACTERIZACIÓN DEL CANAL MÓVIL EN BANDA ANCHA.**

El espectro de señales de ancho de banda grande se verá distorsionado por el efecto de la propagación multicamino. Este fenómeno es conocido como *desvanecimiento selectivo*, y aparece como una variación del nivel de señal recibida en función de la frecuencia. Así, en determinados instantes pueden recibirse con buen nivel determinadas componentes frecuenciales y no llegar apenas señal de otras componentes, y darse el caso contrario en otro momento. Por tanto, dada la complejidad de la caracterización en banda ancha, será necesario recurrir a la estadística.

Para trayectos de varios centenares de longitudes de onda (*long-term fading*), cuando aparecen grandes cambios en el trayecto de propagación o en el entorno que rodea al receptor, se detecta que la intensidad de campo  $E$  sigue una distribución normal o gaussiana de media  $\bar{E}$  y desviación típica  $\sigma_E$ , de manera que su función de densidad de probabilidad vendrá dada por:

$$f_E(E) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_E^2}} e^{-\frac{1}{2\sigma_E^2}(E-\bar{E})^2}$$

expresión que corresponde a una distribución normal o gaussiana.

Okumura demostró que cuando la señal se tomaba en trayectos de 20 m y en áreas de diámetro entre 1 y 1'5 km, los valores de  $\sigma_E$  se movían entre 3 y 7 dB. En la banda de 900 MHz se ha obtenido un valor medio de 6'7 dB en la zona urbana de Valencia.

Para trayectos de decenas de longitudes de onda (*short-term fading*), existen varias distribuciones estadísticas, dentro de las cuales destacan la distribución Rayleigh, la distribución Rice y la distribución Nakagami. Todas ellas son similares entre sí, y son a su vez variaciones de la distribución gaussiana empleada en el long-term fading, con lo cual no entraremos a estudiarlas con detalle.

### **1.5.5 MODELOS DE PROPAGACIÓN.**

Podemos realizar una clasificación de los modelos de propagación dependiendo del método empleado para la obtención de las pérdidas medias de propagación, en:

- **Empíricos.** Basados en campañas de medidas.
- **Semiempíricos.** Modelos empíricos a los que se añaden soluciones exactas a algunos mecanismos de propagación.
- **Deterministas.** Basados en el cálculo exacto de las ecuaciones que cuantifican las pérdidas debidas a propagación, difracción, reflexión, etc.
- **Semideterministas.** Son deterministas aunque precisan de técnicas estadísticas para modelar algunos elementos físicos del entorno donde tiene lugar la propagación.

Otra posible clasificación de los modelos de propagación sería:

- **Bidimensionales.** Del total de contribuciones que pueden llegar al receptor, sólo consideran la principal, por lo que únicamente son capaces de obtener una predicción de la cobertura radioeléctrica.
- **Tridimensionales.** Identifican el mayor número posible de contribuciones que pueden llegar al receptor debidas al multicamino: camino directo, reflexiones, difracciones en aristas, etc.

El modelo más empleado es el de Okumura-Hata, modelo empírico bidimensional desarrollado en diferentes ciudades japonesas para frecuencias entre 453 y 1920 MHz, y bajo condiciones normales en comunicaciones móviles (altura de la estación base entre 30 y 200 m, altura de la estación móvil entre 1 y 10 m y distancia base-móvil entre 1 y 20 km), de ahí su idoneidad para este tipo de sistemas. Se obtuvieron unas curvas estándar de propagación, que a posteriori han proporcionado buenos resultados. Debido al carácter empírico de este modelo, su expresión ha sido obtenida mediante complejos procedimientos de regresión y tiene la siguiente fórmula

$$L(\text{dB}) = 68.75 + 27.72 \log f_c - 13.82 \log h_b - h_m (1.1 \log f_c - 0.7) + (44.9 - 6.55 \log h_b) \log R$$

,siendo  $L$  las pérdidas de propagación en dB,

$f_c$  la frecuencia de portadora en MHz,

$h_b$  y  $h_m$  las alturas de la estación base y móvil en metros,

y  $R$  la distancia entre transmisor y receptor, en kilómetros.

Otros modelos, variaciones del anterior y que tienen más o menos en cuenta determinados parámetros son el de Walfisch-Bertoni y el de Walfisch-Ikegami. El primero considera los edificios como cilindros difractantes que se comportan como filas de pantallas absorbentes. En el segundo se consideran correcciones empíricas basadas en supuestos tales como las orientaciones de las calles, el suponer que el edificio donde está situada la estación base es más alto que los vecinos, etc.

Por último, existen otros modelos que tienen en cuenta los materiales de los que están compuestos los scatterers: por ejemplo no tendremos las mismas pérdidas de propagación si los edificios están contruidos de hormigón, de hormigón ligero, de ladrillo, etc. Tampoco entraremos en el estudio de éstos.

## 1.6 Estructura y acceso celular.

### 1.6.1 INTRODUCCIÓN.

Entendemos por *Comunicación móvil* aquella en la cual al menos uno de los dos extremos (transmisor y/o receptor) es móvil. Esta definición no implica la *portabilidad* de ninguno de éstos. Por tanto, un caso particular de equipo móvil es el equipo portátil. Los teléfonos móviles que empleamos hoy en día son además portátiles, les podríamos llamar por tanto *portátiles*, siendo ejemplos de equipos móviles no portátiles los teléfonos para coche o los equipos de radiocomunicación que se encuentran a bordo de un taxi, de un barco o de un avión.

Podríamos incluir como receptor móviles igualmente los walkie-talkies, los teléfonos inalámbricos, los equipos de radiomensajería (popularmente conocidos como *buscas*), los walkmans, los aparatos de radio situados en vehículos o los *babysitters*, siendo los tres últimos *receptores móviles* (para comunicaciones unidireccionales) y los tres primeros, junto con los teléfonos móviles, *transceptores móviles* (son simultáneamente emisores y receptores), y centrarán nuestra atención en la presente asignatura.

Existen muchas formas de clasificar los sistemas de comunicaciones móviles. Una de ellas, tal como hace el Reglamento de Radiocomunicaciones, es en función del entorno en el que se utilizan: terrestre, marítimo o aeronáutico. Otra posibilidad es clasificarlos según su capacidad de comunicación, en uno o ambos sentidos. Con este criterio, los sistemas móviles se clasificarían en:

- Sistemas símplex.
- Sistemas dúplex.

#### *1.6.1.1 Sistemas símplex.*

No pueden emitir y recibir de forma simultánea, el usuario conmuta manualmente de emisión a recepción mediante un pulsador. También son conocidos como *Sistemas PTT (Push To Talk)*. Un ejemplo de equipo PTT son los ya mencionados walkie-talkies. Generalmente se utiliza la misma frecuencia para transmitir y recibir.

#### *1.6.1.2 Sistemas dúplex.*

Existe un elemento en el equipo, denominado *duplexor*, que separa los dos sentidos de la comunicación, permitiendo la transmisión y recepción simultáneas. Además es necesario emplear dos frecuencias, una para la señal a emitir y otra para la señal a recibir. El ejemplo más claro son los teléfonos móviles, que establecen una comunicación dúplex con la *Estación Base* o BTS correspondiente. En este caso hablaremos también de *frecuencia uplink* (sentido terminal móvil – BTS) y *frecuencia downlink* (sentido BTS – terminal móvil).

### **1.6.2 TÉCNICAS DE ACCESO.**

Los servicios de telefonía móvil tienen asignado un ancho de banda limitado en la zona de radiofrecuencia, para la comunicación de abonados móviles entre sí o con otros de la red fija. La comunicación full-duplex, necesaria en este tipo de comunicaciones, se lleva a cabo dividiendo los recursos disponibles del canal; por ejemplo, con duplexación en frecuencia (FDD) se divide el ancho de banda disponible en una banda para la comunicación móvil → estación base (enlace ascendente o uplink) y otra para la comunicación estación base → móvil (enlace descendente o downlink). Por convenio, las frecuencias más bajas se destinan al uplink, debido a que el móvil es más débil que la estación base y la señal sufre menor atenuación en la banda baja que en la banda alta.

El ancho de banda disponible es un recurso que debe utilizarse de la forma más eficiente posible, para permitir el uso del canal de comunicación por un gran número de usuarios. Para ello se utilizan diferentes técnicas de acceso múltiple, de las que describiremos a continuación los cuatro tipos básicos, y se acompaña un ejemplo de aplicación de cada uno de ellos.

La capacidad inherente de tráfico de estas técnicas de acceso, medida como número de (conversaciones/kHz)/km<sup>2</sup>, es esencialmente la misma. Debemos notar, sin embargo, que las diferencias significativas aparecen en características que no son propiamente de acceso, como la codificación de la señal de voz o el control de actividad de la voz.

#### ***1.6.2.1 Acceso múltiple por división en frecuencia: FDMA.***

El ancho de banda disponible se divide en subbandas (canales) de frecuencia, un usuario utiliza un canal durante el tiempo que dure la conversación, cuando queda libre puede ser utilizado por otro usuario. Los canales son bandas de frecuencia disjuntas y separadas por bandas de guarda para evitar interferencias entre canales (notemos que son necesarias, porque no es posible el filtrado ideal que separe a diferentes usuarios). El ancho de banda asignable a cada usuario depende del ancho de banda de la información y del tipo de modulación utilizada.

Esta técnica de acceso se usa esencialmente en sistemas analógicos, transmitiendo señal (de voz) analógica con modulación, normalmente FM. Si se tienen  $n$  canales, se pueden tener  $n$  usuarios con acceso simultáneo, cada uno utilizando una de las  $n$  posibles frecuencias de portadora.

Un ejemplo de sistema FDMA es el TACS 900, que utiliza en la banda de 900 MHz un enlace descendente en 935-950 MHz y otro ascendente en 890-905 MHz, cada uno de ellos con un ancho de 15 MHz, 40 canales/MHz (lo que suma un total de 600 canales) y anchura de 25 kHz para cada canal. En este sistema, se divide el ancho de banda en zonas A y B, ya que está pensado para 2 operadores de telefonía.

E-TACS amplía el ancho de banda de los enlaces anteriores, añadiendo las bandas E-TACS 917-935 MHz al enlace descendente y 872-890 MHz al ascendente. En España se utiliza todavía este sistema (con la denominación TMA900 y conocido comercialmente como Moviline), donde se ocupa únicamente la banda B y son posibles hasta 640 canales de voz.



Figura 1.8. División en frecuencia y asignación de canales.

### 1.6.2.2 Acceso múltiple por división en tiempo: TDMA.

A cada usuario se le asigna un número predeterminado de intervalos de tiempo (*time slots*), y durante ese tiempo tiene disponible todo el ancho de banda del radiocanal. Así, la información de un usuario se transmite por el canal de forma intermitente (a ráfagas), de manera que en lugar de transmitir la señal en sí, lo que se retransmitirán serán *muestras* de la misma. Se incluyen también tiempos de guarda para evitar interferencias entre ventanas temporales, debidas sobre todo a imperfecciones de sincronización.

Previamente es necesario hacer una puntualización, y es que, para poder emplear TDMA, se ha de cumplir el *Criterio de Nyquist*, que establece que la frecuencia de muestreo (o de obtención de las muestras) ha de ser al menos el doble que el ancho de banda de la señal a muestrear, o de lo contrario sucederá el fenómeno de *aliasing* o solapamiento de las muestras. De esta forma, para poder muestrear (o reconstruir la señal a partir de las muestras) una señal de 4 kHz, es necesario muestrear como mínimo a 8 kHz. La separación entre muestras será por tanto de 125  $\mu$ s.

Esta técnica de acceso se utiliza en sistemas digitales, con señales moduladas por pulsos y con codificación eficiente para reducción de tasa de bits (de tipo LPC, p.ej.). Sólo es necesaria una portadora y cada uno de los  $n$  usuarios tiene acceso a  $1/n$  del tiempo, normalmente guardando el orden en la secuencia de asignación. Si la tasa de bits de cada usuario es  $r_b$ , entonces la tasa de bits de la ráfaga correspondiente a  $n$  usuarios debe ser, al menos,  $n r_b$ .

Un sistema que emplea TDMA y que se emplea en los países americanos es el llamado DAMPS, aunque en estos países se está empezando a emplear una variante de DCS 1800, el DCS 1900, que emplea la banda de 1'9 GHz. En DAMPS se emplea la banda de 824 a 849 MHz para el uplink y la banda de 869 a 894 MHz para el downlink, con 832 radiocanales dúplex y una separación entre radiocanales de 30 kHz.

Como ejemplo, los sistemas de comunicación GSM 900 (estándar europeo de comunicaciones móviles digitales, usado en también en otros países) y DCS 1800 utilizan TDMA. Aquí, la trama básica TDMA ocupa 8 *time slots* y tiene una duración de 4'6155ms. Cada *time slot* tiene una duración de 577  $\mu$ s y una capacidad de 156'25 bits (ver figura siguiente).

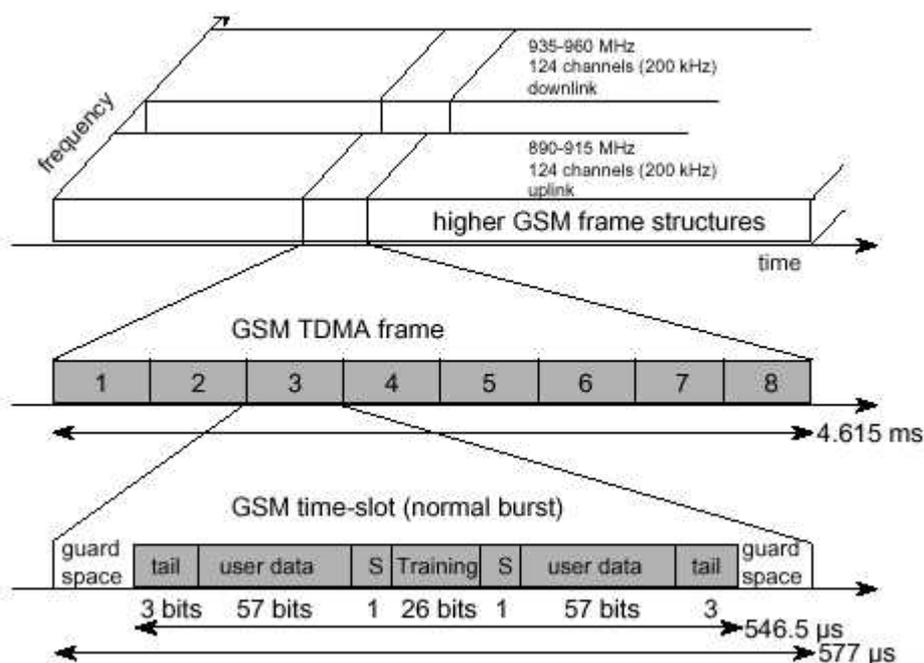


Figura 1.9. Tramas en el Interfaz Radio GSM.

En la trama de duración normal, el bit F (flag, bandera) asociado a cada ráfaga de datos de 57 bits, indica si estos bits corresponden a voz digitalizada o a otro tipo de señal. Los 3 bits T (tail, cola) son 0s lógicos utilizados para decodificación convolucional de los bits de datos codificados. La secuencia de entrenamiento es para equalización del canal; al final de cada time slot se incluye un tiempo de guarda para prevenir el solapamiento entre ráfagas (time slots). La eficiencia de trama es de 74'24%.

GSM 900 utiliza la banda 890-915 MHz para el enlace ascendente y 935-960 MHz para el descendente. La técnica de acceso múltiple elegida en GSM es una combinación de TDMA y FDMA. Como parte FDMA se divide el ancho de banda de 25 MHz en 124 radiocanales (frecuencias de portadora) de 200 kHz de anchura, con distancia dúplex de 25 MHz entre semicanal descendente y semicanal ascende. Una o más frecuencias de portadora se asignan a cada estación base y en cada una de esas portadoras el acceso es TDMA con 8 time slots.

Considerando una sola ventana de frecuencias, la transmisión TDMA se organiza jerárquicamente en tramas, multitramas, supertramas e hipertramas. Las multitramas se componen de 26 tramas, las supertramas a su vez de 51 multitramas de tráfico o 26 multitramas de señalización, y la hipertrama, último nivel de la jerarquía, de 2048 supertramas. Una hipertrama tiene una duración de 3 horas 28 minutos 53 segundos y 760 milésimas.

Dentro de esta organización, se agrupan los distintos canales lógicos soportados en el sistema GSM para el transporte de información entre usuarios (canales de tráfico), o información de señalización del propio sistema (canales de control). Los canales de control pueden dividirse en canales de control comunes (4 tipos) y canales de control dedicados (3).

### **1.6.2.3 Acceso múltiple por división en código CDMA.**

Es una técnica de espectro ensanchado: utiliza un ancho de banda total mucho mayor (más de 10 veces) que el ancho de banda requerido para la transmisión de la información de un usuario. Esto hace posible que el radiocanal completo sea compartido por un número de usuarios, con acceso a todo el ancho de banda durante todo el tiempo.

Tenemos principalmente dos técnicas de espectro ensanchado: por *secuencia directa* y por *salto en frecuencia*.

En **espectro ensanchado** por secuencia directa, se asigna a cada usuario un código digital (llamada secuencia directa de pseudo-ruido), que es conocido por el terminal móvil y la estación base. Este código, de ancho de banda grande (1'28 Mbps), es modulado con la señal mensaje (de menor ancho de banda, 9'6 kbps), dando lugar a una secuencia de ancho de banda amplio y aspecto similar al ruido.

Finalmente la transmisión se realiza con modulación FSK. En el receptor, la comunicación es filtrada de acuerdo con este código, de forma que se extrae la señal de entre el fondo de ruido que forman el resto de comunicaciones de los demás usuarios, correlacionando las señales recibidas con la copia del código de pseudo-ruido. Si los códigos están escogidos adecuadamente para pequeña correlación cruzada (son ortogonales), la interferencia entre usuarios se hace muy pequeña.

La comunicación de cada usuario es una fuente de ruido para los demás; ese ruido es aditivo, e impone un límite práctico en el número de usuarios que pueden estar compartiendo el canal. El control de potencia de los terminales móviles es crítico para mantener la capacidad del sistema y de hecho debe mantenerse la comunicación con la potencia mínima que asegure una aceptable calidad del servicio, y que asegure que la recepción de potencia de todos los terminales móviles en la estación base sea la misma (no deben diferir más de 1 dB).

La otra técnica de espectro ensanchado es la de **salto en frecuencia** (frequency hopping), un híbrido de las técnicas FDMA y TDMA: a cada usuario se le asigna una banda de frecuencias durante un intervalo de tiempo, pero durante los siguientes time slots se va cambiando de forma pseudo-aleatoria la asignación de las bandas. GSM utiliza el salto en frecuencia en cada trama TDMA, aunque no como técnica de acceso.

Estas técnicas tienen la ventaja de proporcionar comunicaciones seguras y de ser más robustas frente a interferencias. En los EE.UU. se utiliza el sistema Qualcomm CDMA, que sigue el estándar digital IS-95, y dispone de 1,25 MHz de ancho de banda, con 62 canales y 2 de servicio. Con el *Acceso Múltiple por División de Códigos de Banda Ancha (WCDMA)* este ancho de banda es de 5 MHz.

El sistema NavStar GPS, de radionavegación por satélite, también utiliza la técnica de CDMA.

#### ***1.6.2.4 Acceso Múltiple por división en espacio: SDMA.***

Tiene un carácter diferente al resto de técnicas de acceso mencionadas hasta ahora. Aprovecha la separación espacial de los usuarios móviles para utilizar los mismos recursos del canal con estos usuarios: se utilizan antenas que apuntan a direcciones distintas, con lo que 2 usuarios pueden utilizar la misma frecuencia o el mismo intervalo temporal.

Esta técnica está implícita en numerosos sistemas de comunicaciones, no sólo de telefonía móvil. Las emisoras de radio y televisión comercial la emplean al no haber espectro disponible para que cada emisora tenga su frecuencia y que ninguna otra la posea igualmente.

En telefonía móvil es necesaria la reutilización de frecuencias como uno de los principios de la estructura celular. El inconveniente es que surgirán las llamadas interferencias cocanal, que se pueden minimizar haciendo mayor la distancia de reutilización de frecuencias.

### **1.6.3 DÚPLEX.**

Excepto en situaciones especiales, la información vía radio se mueve en modo dúplex, que significa que para cada transmisión en una dirección, se espera una respuesta, y entonces se responde en la otra dirección. Hay dos formas principales de establecer canales de comunicaciones dúplex.

#### ***1.6.3.1 Dúplex por división en frecuencia: FDD.***

Debido a que es difícil y muy caro construir un sistema de radio que pueda transmitir y recibir señales al mismo tiempo y por la misma frecuencia, es común definir un canal con dos frecuencias de operación separadas, una para el transmisor y otra para el receptor. Todo lo que se necesita es añadir filtros en los caminos del transmisor y del receptor que mantengan la energía del transmisor fuera de la entrada del receptor. Se podría usar una antena común como un sistema de filtrado simple. Los sistemas de filtrado se llaman duplexores y nos permiten usar el canal (par de frecuencias) en el modo full-duplex; es decir, el usuario puede hablar y escuchar al mismo tiempo.

#### ***1.6.3.2 Dúplex por división en tiempo: TDD.***

Se utiliza un único canal de frecuencia para transmitir en ambos sentidos, aunque no simultáneamente. Durante un periodo de tiempo se transmite en un sentido, y a continuación en el otro. Este mecanismo se puede implementar de forma manual o utilizando una trama temporal (similar a TDMA), en este caso se reservan time slots para la comunicación en un sentido y otros para el sentido inverso.

Muchos sistemas de radio móviles, como los sistemas de seguridad públicos, no requieren la operación full-dúplex. En estos sistemas se puede transmitir y recibir en la misma frecuencia pero no en el mismo tiempo. Esta clase de dúplex se llama half-dúplex, y es necesario que un usuario de una indicación de que ha terminado de hablar, y está preparado para recibir respuesta de otro usuario. Este sería un ejemplo control manual. En sistemas inalámbricos como el DECT se utiliza TDD con una trama 24 time slots, 12 para cada sentido. UMTS también prevé el uso de esta técnica para terminales de baja movilidad en puntos de alto tráfico.

### **1.6.4 DIVERSIDAD.**

En un sistema de comunicaciones móviles, la potencia de transmisión de la estación móvil está fuertemente desequilibrada respecto de la potencia de transmisión de la estación base. Así, en el downlink la potencia transmitida es mucho mayor que en el uplink. Para compensar este desequilibrio se emplea la diversidad.

Entendemos por diversidad (o redundancia) el *conjunto de técnicas empleadas para obtener diferentes réplicas (al menos dos) de una señal, suficientemente incorreladas como para que podamos considerar sus desvanecimientos o fadings independientes entre sí.* Mediante diferentes técnicas de combinación lineal podremos mezclar estas réplicas obteniendo una señal más fuerte y estable.

De las dos denominaciones (diversidad y redundancia) nos quedaremos con la primera, ya que el concepto “redundante” tiene connotación de “sobrante”, mientras que el concepto “diverso” se ajusta mucho mejor a la idea de diferentes señales, combinadas para formar una sola, sin que ninguna de ellas sobre.

Desde el punto de vista estadístico, lo que se consigue al utilizar diversidad es *estrechar la forma de la función de densidad de probabilidad de la intensidad de campo eléctrico recibida o de la potencia recibida.* Así, en las figuras siguientes podemos ver como  $E_{rd}$  (intensidad de campo eléctrico recibida empleando diversidad) será mayor que  $E_r$  (intensidad de campo eléctrico recibida sin emplearla).

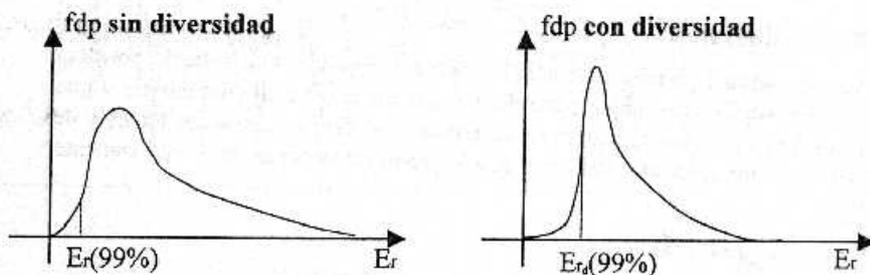


Figura 1.10. Funciones densidad de probabilidad de la intensidad de campo eléctrico recibido sin emplear técnicas de diversidad y empleándola.

Desde el punto de vista de la ecuación de pérdidas, se define *ganancia por diversidad* en un porcentaje de ubicaciones,  $n$ , como la diferencia (en dB) entre el campo eléctrico rebasado en dicho porcentaje de ubicaciones utilizando técnicas de diversidad y el campo eléctrico superado en dicho porcentaje sin emplear estas técnicas:

$$G_D(n\%) = E_{rd}(n\%) - E_r(n\%) \quad (dB)$$

No obstante, también es frecuente hablar genéricamente de ganancia por diversidad como un valor en dB en el sentido móvil-base, gracias a las técnicas de diversidad empleadas en esta última.

Algunos autores distinguen dos tipos de diversidad, la *macrodiversidad* y la *microdiversidad*. Nosotros denominaremos diversidad a esta última, mientras que nos referiremos a la primera como *handover*. Este concepto será desarrollado más adelante.

Es complicado, debido a las dimensiones del mismo, emplear técnicas de diversidad en receptores móviles portátiles. No es este el caso de móviles no portátiles, por ejemplo a bordo de un vehículo, incorporando dos antenas suficientemente separadas como para que los fadings correspondientes a las señales captadas por cada una de las antenas estén suficientemente incorrelados. Sin embargo, donde es más frecuente emplear técnicas de diversidad es en las estaciones base.

Las principales técnicas de diversidad son las siguientes:

- Diversidad en espacio.
- Diversidad en polarización.
- Diversidad en frecuencia.
- Diversidad en tiempo.

### ***1.6.4.1 Diversidad en espacio.***

La más empleada en GSM900. Se basa en la separación de las antenas receptoras. Esta distancia dependerá principalmente del entorno en el que se encuentre la estación móvil y la cantidad de scatterers presentes en éste.

### ***1.6.4.2 Diversidad en polarización.***

Generalmente la antena del móvil no está completamente horizontal ni completamente vertical, sino oblicua. De esta forma la señal transmitida poseerá dos componentes: la componente en polarización horizontal y la componente en polarización vertical. Estas componentes se verán afectadas por los scatterers de forma diferente. Con una única antena receptora preparada para captar ambas polarizaciones, también estamos consiguiendo una ganancia por diversidad. Se utiliza por ejemplo en DCS1800.

### ***1.6.4.3 Diversidad en frecuencia.***

Si la estación móvil es capaz de transmitir la misma señal por dos portadoras suficientemente alejadas en frecuencia como para que los scatterers les afecten de forma diferente y en recepción se captan ambas frecuencias, también estamos consiguiendo una ganancia en la señal recibida. No obstante esta técnica apenas se utiliza debido a que necesita un mayor ancho de banda de transmisión, y es por todos bien sabido que el espectro de frecuencias es un recurso escaso.

### ***1.6.4.4 Diversidad en tiempo.***

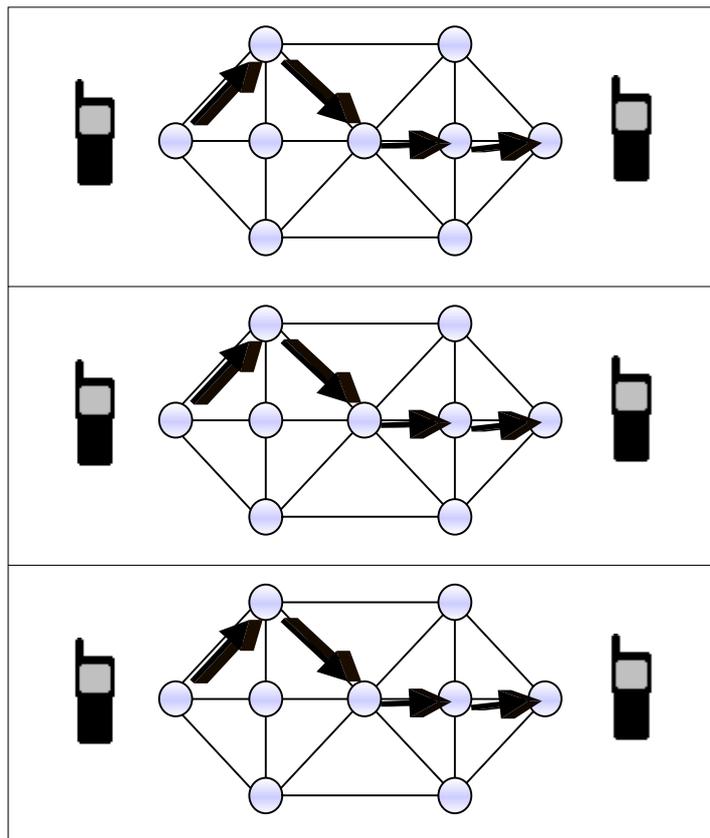
Tiene poco sentido en comunicaciones de voz, aunque sí en comunicaciones de datos. Consiste en repetir las transmisiones de manera que comparando la señal recibida y la copia recibida instantes después podemos detectar errores con mayor facilidad y disminuir así la probabilidad de error.

### **1.6.5 CONMUTACIÓN.**

En un sistema de comunicaciones, conforme aumenta el número de usuarios, se hace inviable el conectar a todos con todos para conseguir una comunicación universal, ya que los recursos necesarios crecen exponencialmente con el número de usuarios. Por lo que es necesario utilizar un mecanismo de conmutación que permita interconectar dos extremos de la red de una forma más eficiente. Con la conmutación aparece el concepto de congestión, asociado a la posibilidad de que un usuario no consiga en un momento dado acceder a una línea, por que están siendo utilizadas por otros. Es conveniente, por tanto, dimensionar bien los recursos para conseguir probabilidades de congestión aceptables aun precio razonable.

#### ***1.6.5.1 Conmutación de circuitos.***

En un sistema de conmutación de circuitos, se establece un camino físico que conecta a dos usuarios entre sí. La conexión física se mantiene mientras dura la conversación, y se libera al finalizar la misma. Existen y han existido diversas tecnologías que han permitido esta conmutación: manual, mecánica, semielectrónica, electrónica. El número de comunicaciones máximas que puede soportar un sistema de conmutación está limitado por el número de circuitos que puede establecer al mismo tiempo. Es un sistema pensado, fundamentalmente para la transmisión de voz, aunque puede soportar transmisión de datos (de una forma menos eficiente).



*Figura 1.11. Conmutación de circuitos.*

### 1.6.5.2 Conmutación de paquetes.

En este tipo de conmutación, la información a transmitir (por ejemplo una conversación, una transmisión de datos) se subdivide en pequeños bloques, denominados paquetes, que constan de una información de control o cabecera (con datos como origen, destino, posición dentro de la transmisión, ...) y un cuerpo o mensaje, que es la información a transmitir. Los paquetes no siguen, necesariamente, el mismo camino para llegar a su destino, ni tardan el mismo tiempo en llegar. Es necesario, por tanto, una cierta lógica que permita reconstruir la información en el orden deseado. Para transmisiones de voz habrá que reconstruir la conversación de tal forma que el oído no pueda percibirlo, garantizando una percepción natural. Es un sistema que optimiza la transmisión de datos, y trata la voz como un cadena de datos más.

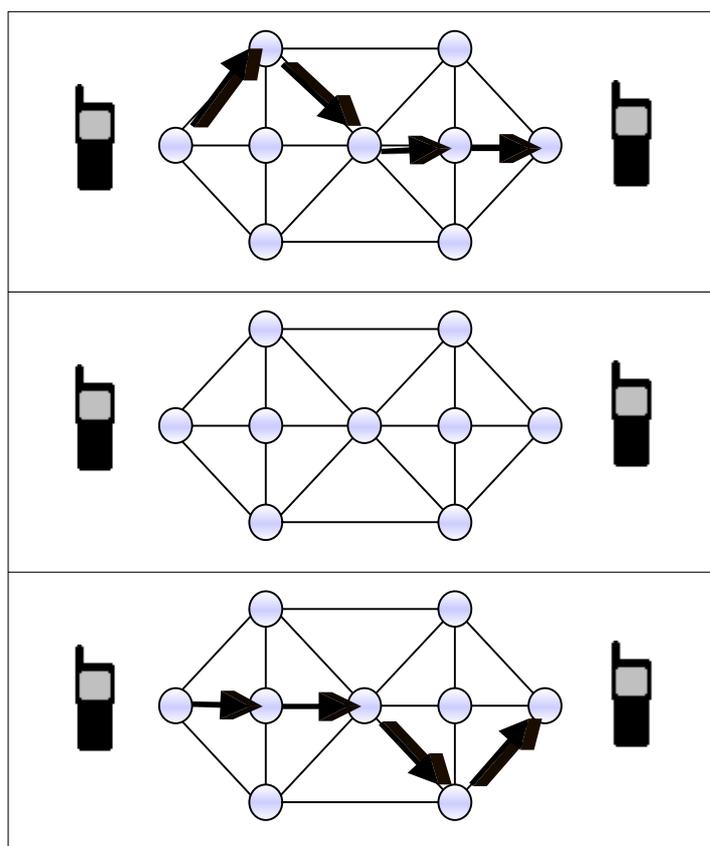


Figura 1.12. Conmutación de paquetes.

### **1.6.6 NECESIDAD DE UNA ESTRUCTURA CELULAR.**

Imaginemos un sistema de comunicaciones móviles que conste de 50 radiocanales (25 canales dúplex). Imaginemos que con este sistema se quiere cubrir un área de 2.500 km<sup>2</sup>, para lo cual se busca un emplazamiento adecuado para la estación base, de modo que no haya zonas de sombra en el área que nos interesa. Supongamos ahora que dentro del área cubierta por nuestra estación base hay una gran urbe y que la población de toda la zona son 5.000.000 de personas. Nuestro sistema, obviamente sólo podría soportar 25 llamadas simultáneas (en sistemas digitales, empleando multiplexación temporal, podrán ser 8 veces más, 200 llamadas en este caso) lo que lo convierte en un sistema inviable. Para superar esta dificultad podríamos pensar en usar más radiocanales, pero la saturación del espectro radioeléctrico hace también inviable esta opción. Debemos, pues, pensar en otro tipo de estructura alternativa.

En lugar de intentar incrementar la potencia de transmisión, los sistemas celulares se basan en el concepto de reutilización de frecuencias: la misma frecuencia se utiliza en diversos emplazamientos que están suficientemente alejados entre sí, lo que da como resultado una gran ganancia en capacidad. Por contra, el sistema es mucho más complejo, tanto en la parte de la red como en las estaciones móviles, que deben ser capaces de seleccionar una estación entre varias posibilidades. Además, el coste de infraestructura aumenta considerablemente debido a la multiplicidad de emplazamientos.

Para incrementar el número de canales por unidad de superficie sólo nos queda la opción de reducir el área que ha de ser atendida con esos recursos. La pregunta ahora es en cuántas subáreas es necesario dividir el área total. La respuesta a esta pregunta está relacionada con diversos parámetros, como son el número de usuarios del sistema, la densidad de éstos según la zona, el número de transmisores a emplear, la potencia que debe tener cada transmisor, el espectro disponible, etc. Con todo ello llegamos a que la estructura idónea para un sistema de este tipo es la estructura celular.

### **1.6.7 PRINCIPIOS DE LA ESTRUCTURA CELULAR.**

Este tipo de estructura presenta diversas singularidades, destacando las siguientes:

#### ***1.6.7.1 Celdas hexagonales.***

En el caso ideal, las coberturas de las diferentes estaciones base son hexagonales. Ello se debe a que el triángulo, el cuadrado y el hexágono son los tres únicos polígonos con los que se puede recubrir el plano sin que se solapen, y de los tres el hexágono es el que posee mayor relación perímetro-área. Así pues, para un  $R$  dado, las células hexagonales son las de mayor superficie, es decir, las que minimizan el número de estaciones base necesarias para cubrir una superficie dada. Además, el área de los hexágonos variará según la densidad de abonados de la zona, siendo las celdas de área menor en zonas urbanas y de área mayor en zonas rurales.

#### ***1.6.7.2 Reutilización de frecuencias.***

Esta es la técnica que permite diferenciar a los sistemas de concentración de canales frente al resto. Se trata de tomar todo el grupo de frecuencias asignado a la red y, dividiendo el grupo en varios subgrupos (células) y ordenándolo según una estructura celular (racimo) se pueden construir grandes redes con las mismas frecuencias sin que estas interfieran entre sí.

Es necesario, ya que no sería posible emplear frecuencias diferentes en cada estación base. No obstante no podemos reutilizar frecuencias en estaciones vecinas, sino que debemos respetar una distancia para que el nivel de *interferencia cocanal* sea aceptable. A esta distancia se le denomina *distancia de reutilización*. En la figura siguiente podemos ver una posible agrupación de células, con 7 células por agrupación y cada una utiliza 1/7 de los canales disponibles.

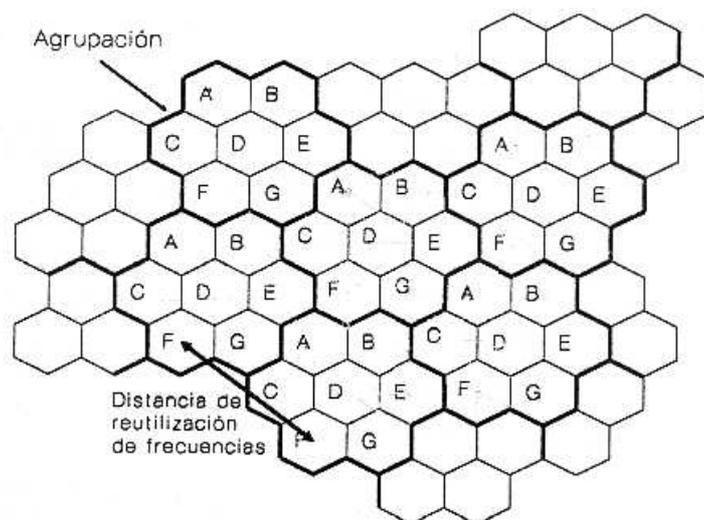


Figura 1.13. Estructura celular hexagonal con agrupaciones de 7 células/agrupación.

### 1.6.7.3 “Roaming” o Itinerancia.

Este concepto hace referencia al cambio de estación base que debe realizar un terminal móvil cuando el usuario cambia de célula. Para poder efectuar el roaming, es necesario que la estación base comunique a la vecina la transferencia de un usuario de una a otra, mediante un mecanismo de control de potencia. Cuando el roaming se realiza con una llamada en curso se le denomina *handover*, y si éste no tiene éxito (por congestión en la estación destino, por problemas orográficos, por una velocidad del móvil tan alta que no da tiempo a que el protocolo de handover se desarrolle correctamente, etc), la llamada caerá.

Actualmente, este concepto está comúnmente asociado al registro de un móvil en una red distinta de la propia. Se define, por tanto, como la capacidad que ofrece una red a un móvil para poder registrarse en cualquier VLR de la red.

Además de las ya mencionadas interferencias cocanal, también debemos tener en cuenta las *interferencias de canal adyacente*, de naturaleza bien diferente. Este tipo de interferencias no son características de la estructura celular sino de prácticamente todos los sistemas de radiocomunicaciones (¿quién no se ha encontrado alguna vez con el problema de no poder escuchar bien una emisora de radio porque “se mete otra cercana que interfiere?”), y obedecen a las imperfecciones en los filtros del receptor que no discriminan correctamente un radiocanal respecto de su inmediato superior o inferior en el espectro (los adyacentes).

Estas interferencias pueden ser minimizadas en este tipo de estructura cuidando la asignación de frecuencias a cada estación base: *no debemos asignar canales consecutivos en frecuencia a una misma estación base.*

#### 1.6.7.4 “Handover” o Traspaso.

Es como se denomina al proceso de pasar una comunicación de un mismo móvil de un canal a otro. Es lo que diferencia a un sistema celular de otro tipo de sistemas de radiocomunicaciones de concentración de enlaces.

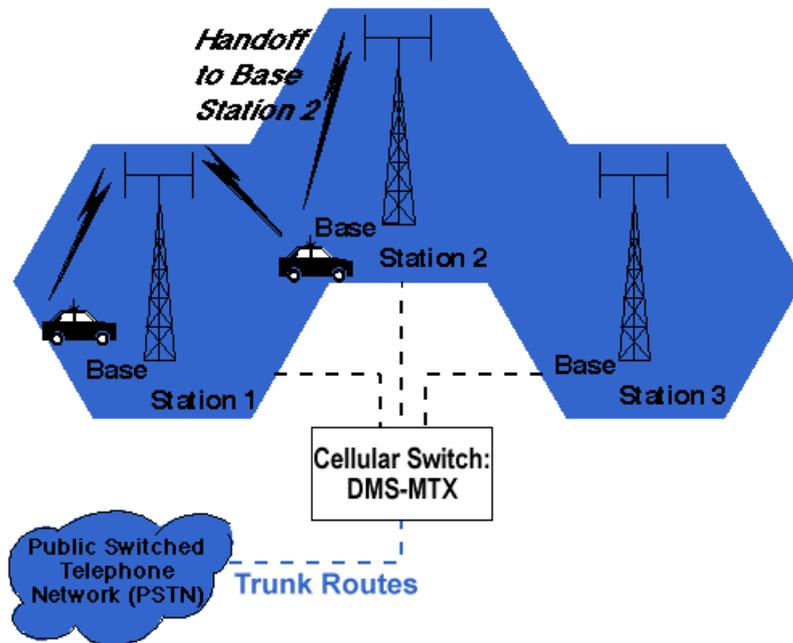


Figura 1.14. Ejemplo de handover.

El mecanismo de handover es parte importante del funcionamiento de cualquier sistema de comunicaciones móviles. En su diseño hay que tratar de conseguir por una parte, el éxito de todos los handover realizados, y por otra, la minimización del número de handover realizados (recordemos que en un handover es necesario consumir recursos hardware de las estaciones base, con lo cual minimizando el número de handovers a tramitar ganaremos en eficiencia de estas últimas).

Supongamos un nivel umbral de potencia para realizar un handover, umbral que denominaremos  $U_h$  (umbral handover). Dado este umbral, debemos fijar otro un poco más alto ( $U_h + D$ ) que marque el inicio de la petición de handover. Si  $D$  es grande, al móvil le costará cierto tiempo cruzar el umbral  $U_h$  y, durante ese tiempo, pueden producirse situaciones, como el cambio de dirección del móvil o su detención, que provoquen que el umbral  $U_h$  nunca sea rebasado. Esto significa que se realizará un handover innecesario por haber comenzado la acción demasiado pronto.

Por otro lado, si  $D$  es pequeño puede no haber tiempo suficiente para transferir la llamada antes de que el umbral  $U_h$  sea cruzado, lo que provocaría la pérdida de esa llamada. Consecuentemente, la elección del tamaño de  $D$  es importante; la mejor opción es hacer que dependa de la pendiente de pérdidas de propagación y de la velocidad del móvil.

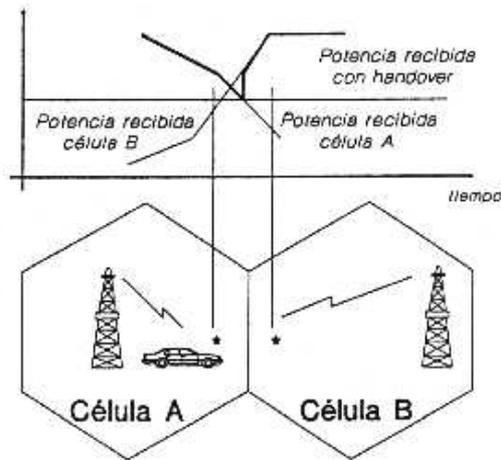


Figura 1.15. Situación típica de handover. Cuando la potencia recibida baja de un umbral, la llamada se transfiere.

Sea  $U_h + D$  el umbral de petición de handover. Podemos estimar la velocidad del móvil como función del LCR (*level crossing rate* o *tasa de cruces por nivel*) y de la longitud de onda  $\lambda$ . Tanto la velocidad del vehículo como la pendiente de pérdidas se pueden usar para calcular el valor de  $D$  adecuado para que el número de handover innecesarios se minimice y se asegure el éxito de los que se llevan a cabo. En el caso de que la pendiente sea alta y la velocidad sea grande, el valor de  $D$  debe ser incrementado puesto que al móvil le costará menos alcanzar  $U_h$ . Si tanto la pendiente de pérdidas como la velocidad del móvil son pequeñas, conviene reducir  $D$  para evitar handovers superfluos.

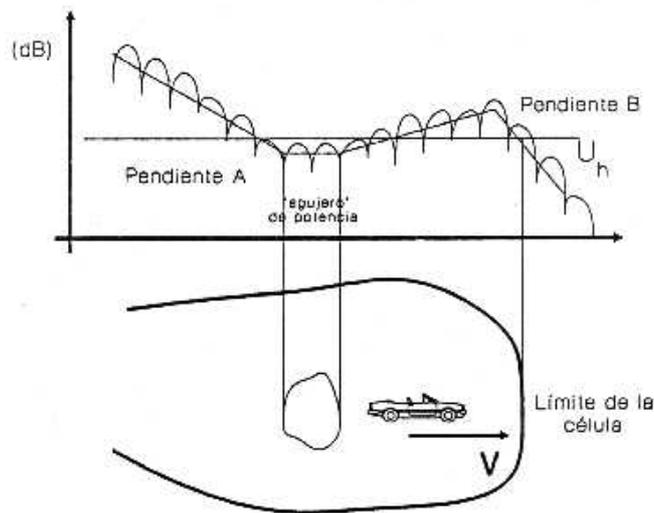


Figura 1.16. En esta situación, la señal procedente del móvil supera el umbral de petición de handover pero debido a un agujero de potencia y no a encontrarse en el límite de cobertura de la estación base. La llamada tiene alta probabilidad de caer.

**1.6.8 DEFINICIONES.**

A continuación se describen los conceptos o definiciones básicas, cuyo concepto debe estar bien claro a la hora de hablar de telefonía celular. En primer lugar, el nombre de telefonía celular proviene de que la zona de cobertura deseada se divide en zonas más pequeñas llamadas células o celdas. Aunque la mayoría de los conceptos que se relatarán a continuación podrían ser aplicables a otros sistemas de radiocomunicaciones, como podría ser la cobertura, por las características de la asignatura se ha preferido particularizar estos conceptos para el caso particular de una red celular.

**1.6.8.1 Célula o celda.**

Célula es cada una de las unidades básicas de cobertura en que se divide un sistema celular. Cada célula contiene un transmisor, que puede estar en el centro de la célula, si las antenas utilizadas son o utilizan un modelo de radiación omnidireccional, o en un vértice de la misma, si las antenas tienen un diagrama directivo, y transmiten un subconjunto del total de canales disponibles para la red celular a instalar. Cada célula, además de varios canales de tráfico, tendrá uno o más canales de señalización o control para la gestión de los recursos radio y la movilidad de los móviles a ella conectados.

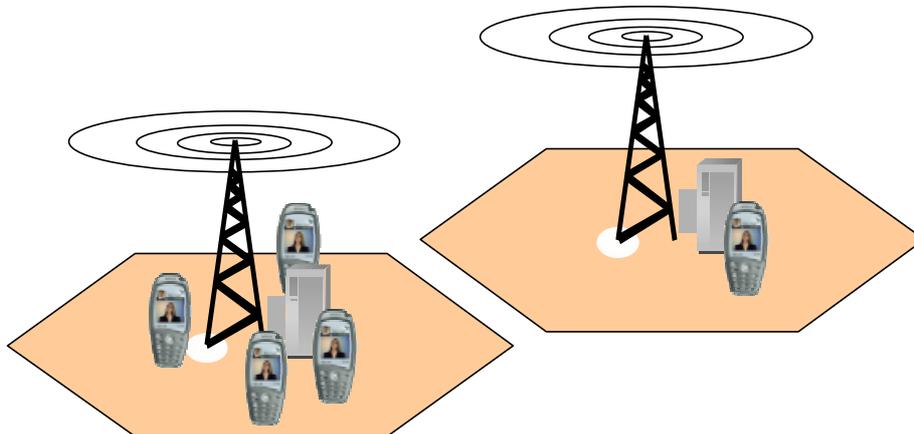


Figura 1.17. Celda o célula octogonal.

**1.6.8.2 “Cluster” o Racimo.**

Lo forman un conjunto de células. Entre todas, agrupan la práctica totalidad de las frecuencias disponibles por la red celular. Sumando varios racimos es como se alcanza la cobertura final del sistema celular, reutilizándose de esta manera las mismas frecuencias en todos los racimos.

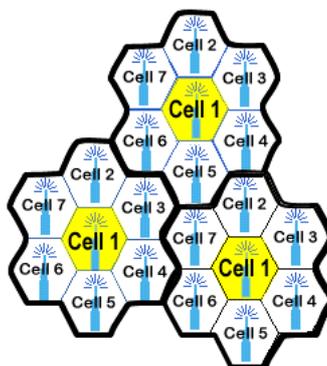


Figura 1.18. Cluster o racimo.

### **1.6.8.3 Cobertura.**

En sentido genérico, se entiende por cobertura la zona desde la cual un terminal móvil puede comunicarse con las estaciones de base y viceversa. Es en el primer parámetro en que se piensa al diseñar una red de comunicaciones móviles: ¿en qué zonas se va a dar servicio a los terminales móviles?.

En primer lugar, la cobertura o el alcance radio de una red es la composición del alcance radio de la suma de todas sus estaciones de base. A la hora de planificar una red, desde el punto de vista de la cobertura, el primer dato que se necesita saber es la zona que se desea cubrir, o zona de servicio.

Si se parte de esta única hipótesis, dado un área a cubrir, sería necesario un número de células tal que la suma de las áreas cubiertas por dichas células, a una altura determinada  $h$  y transmitiendo a su máxima potencia, fuera igual al área a cubrir.

Ahora bien, debemos tener en cuenta que no basta con realizar el cálculo de potencia en el sentido estación base a móvil; también es necesario que el móvil, en función de su capacidad de transmisión, pueda de llegar hasta la estación de base. Por ello, la cobertura de la red debe planificarse teniendo en cuenta las condiciones de transmisión en las que se encuentra el móvil: es a lo que se denomina realizar un balance de enlace. Actualmente, las redes se diseñan teniendo en cuenta varios tipos de móviles: la máxima cobertura se ofrece para terminales instalados en vehículos, con antena exterior, y también se realizan provisiones para equipos portátiles en el exterior y en interior de vehículos, sin antena externa.

Debido a las características particulares del trayecto radioeléctrico, únicamente puede hablarse de cobertura en sentido estadístico. Esto implica que, las áreas que se representan teóricamente cubiertas, lo están en un determinado porcentaje de ubicaciones y de tiempo. Existen gráficas, obtenidas de medidas empíricas sobre propagación, que muestran las correcciones en atenuación que se deben realizar para calcular correctamente el área de cobertura de un transmisor radio, así como la probabilidad de cobertura asociada a dichas correcciones.

Hasta aquí todo es aplicable a casi cualquier sistema que tenga la radio como medio de transmisión. Lo que diferencia a un sistema celular es que, en zonas de alta densidad de tráfico, es capaz de utilizar más eficientemente que otros sistemas el limitado espectro radioeléctrico que tiene asignado. Esto implica un diseño de red radio denominado “celular”, que es lo que le da el nombre al sistema.

La técnica consiste en dividir el área a cubrir en un número de células suficientemente grande, que permita la reutilización de frecuencias. Estos conceptos serán explicados con más detalle más adelante. Desde el punto de vista de cobertura, lo que esta división en pequeñas células implica es que la cobertura de cada célula va a estar limitada por interferencia; es decir, el diseño se hará de forma tal que las células que utilizan los mismos canales de radio emitan a una potencia suficientemente baja para no interferirse entre sí y, a su vez, no interferir a los móviles a los que están dando servicio. En definitiva, el máximo alcance de una célula sólo se podrá conseguir en lugares de poca densidad de tráfico, que no son los más adecuados para este tipo de sistemas.

#### ***1.6.8.4 Capacidad.***

Es la cantidad de tráfico que puede soportar este tipo de sistemas. El diseño de una red celular está pensado para soportar, gracias a la compartición de canales y a la división celular, una gran capacidad de tráfico.

Al ser un sistema de concentración de canales, la capacidad por cada bloque de canales se calcula mediante la aplicación de la fórmula de Erlang B, es decir, como un sistema de llamadas perdidas (sin colas).

La capacidad que aporta este tipo de sistemas es función del número de canales utilizado, o ancho de banda disponible, del tamaño de las células y de la configuración en racimos o “clusters”. La capacidad será mayor cuanto mayor ancho de banda se disponga, cuanto menor sea la célula y cuantas menos células sean necesarias por “cluster”. Este último parámetro estará fuertemente ligado a la relación de interferencia co-canal que el sistema sea capaz de soportar. Respecto al tamaño de la célula, este estará limitado por la capacidad del protocolo de gestión de la movilidad y por la velocidad a la que se desplacen los móviles en la zona de servicio.

El diseño de la capacidad de los sistemas se realiza por zonas, tomando cada estación de base independientemente, suponiendo el caso de tráfico más desfavorable; es decir, el tráfico en la hora cargada.

#### ***1.6.8.5 Señalización.***

Por señalización se entiende toda comunicación dedicada a gestionar los recursos del sistema para permitir la comunicación. Al hablar de comunicaciones celulares, se va a tratar de forma diferente la señalización asociada a la transmisión de radio y la relativa a la propia estructura de red. Como se verá más adelante, ambos “tipos” de señalización sirven a los mismos propósitos, y sólo se diferencian por el tipo de entidades a las que ponen en comunicación. Funcionalmente, se podría distinguir entre:

- Señalización destinada a la gestión de los recursos de radio;
- Señalización destinada a la gestión de la movilidad; y,
- Señalización destinada al establecimiento de la comunicación, que, además, puede ser común con otros sistemas de comunicación y, en particular, debe ser compatible con las redes fijas a las que las redes celulares se conectan.

### **1.6.9 FLEXIBILIDAD DE LOS SISTEMAS CELULARES.**

Una vez que un sistema celular ha sido implantado debe ser capaz de adaptarse a variaciones en la demanda de servicio. Esta adaptación se puede realizar de varias maneras, tres de las cuales describimos a continuación:

#### ***1.6.9.1 Fragmentación celular.***

Hay situaciones en las que una célula se puede saturar debido a un incremento en la demanda de servicio en su zona de cobertura. En estas ocasiones es necesario fragmentar la célula en otras de tamaño más pequeño.

Hay que considerar que esta subdivisión, si se hace por mitades, tiene las siguientes consecuencias:

- Reducción a la mitad del radio de la célula.
- División por 4 de la superficie de la célula.
- Incremento de la capacidad de tráfico por 4.
- División de la potencia radiada por  $2^n$ , siendo  $n$  el exponente de pérdidas de propagación.
- Mayor precisión requerida en la ubicación de estaciones base y en los modelos de propagación.
- Aumento del número de handovers.
- Aumento de los costes fijos (más estaciones base necesarias).

La fragmentación celular ha de ser un proceso gradual, aplicándose sólo en las zonas donde es estrictamente necesario. Así, en un mismo sistema pueden coexistir células de muy diverso tamaño. Como ya se ha comentado anteriormente, es normal que las celdas urbanas sean de mucho menor tamaño (radios del orden de 200 m) que las rurales (radios del orden de 5 km).

#### 1.6.9.2 Sectorización.

Consiste en reducir la interferencia cocanal mediante la sustitución de las antenas omnidireccionales por otras que radien en sectores específicos de la célula. La magnitud de la reducción en las interferencias depende del tipo de sectorización usado (los más habituales son de  $120^\circ$  y de  $60^\circ$ ). Con el uso de sectorización, los canales de frecuencia de cada célula se dividen en tantos grupos como sectores tiene la célula y cada grupo es usado en un solo sector. En el caso de sectorización en  $120^\circ$  el número de estaciones interferentes se reduce a  $1/3$ , si la sectorización es de  $60^\circ$ , a  $1/6$ . Esta mejora se puede incluso aumentar si el diagrama de radiación de cada sector se inclina hacia abajo (modificación de *tilts*), reduciendo así la potencia que sale al exterior de la célula. Esta mejora en las interferencia proporcionará una distancia de reutilización menor, lo cual incrementará la capacidad del sistema. Sin embargo la sectorización no es la panacea, ya que el precio que se paga por esta mejora es el aumento del número de antenas en cada célula, el aumento del número de handovers (éstos se producen también entre sectores y se denominan *handover intracelda*) y una disminución en la eficiencia del uso de canales.

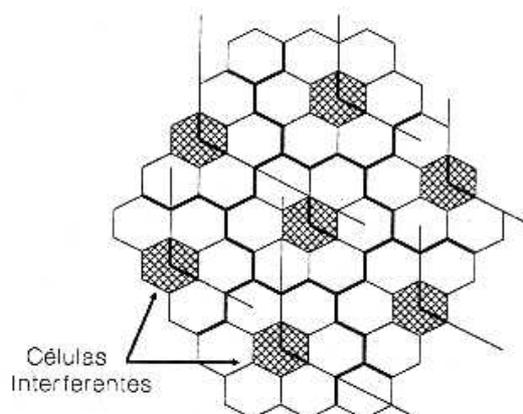


Figura 1.19. Sectorización de  $120^\circ$ . De las 6 estaciones cocanal. circundantes a una célula dada (por ejemplo la central), tan solo 2 interfieren sobre ésta (las indicadas en la figura). Las otras 4 dirigen su haz fuera de los límites de la célula central, con lo cual no generarán interferencias cocanal.

### **1.6.10 EL SISTEMA DE RADIOTELEFONÍA CELULAR.**

En los sistemas de telefonía móvil celular, la zona de cobertura deseada se divide en zonas más pequeñas llamadas células, a las que se asigna un cierto número de radiocanales. Hasta ahora, se han descrito una serie de sistemas que podrían englobarse dentro de este epígrafe. No obstante, sólo se considerarán aquí aquellos sistemas que cumplan los siguientes objetivos:

- Gran capacidad de abonados.
- Calidad telefónica similar al servicio telefónico convencional.
- Utilización eficaz del espectro.
- Conmutación automática de radiocanales.
- Capacidad de expansión.
- Gran movilidad.
- Poder constituir una red de comunicaciones completa en sí mismos.

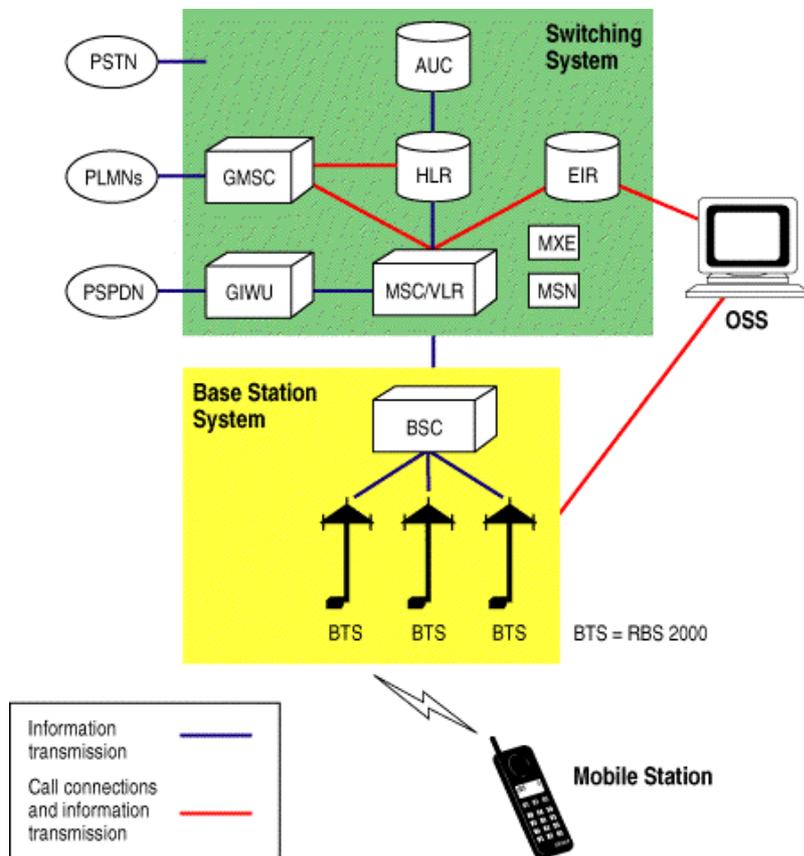


Figura 1.20. Ejemplo de red celular.

### **1.6.11 LA RED CELULAR AL COMPLETO.**

Bajo este epígrafe, se trata de describir, de manera genérica, los diferentes subsistemas de que consta cualquier red celular, teniendo en cuenta sus características básicas.

#### ***1.6.11.1 Radio.***

El subsistema de radio es el que realiza el enlace entre los terminales móviles y las redes terrestres. El diseño de esta red es tremendamente importante en la configuración de una red celular, y gran parte del éxito o fracaso de la calidad de una red pasa por la planificación adecuada de este subsistema.

#### ***1.6.11.2 Conmutación.***

La conmutación o estructura de red es el subsistema encargado de llevar las comunicaciones por tierra, desde la estación base a la que se conecta el móvil, hasta su conexión con la red destino de la llamada (generalmente la red fija) o hacia otra estación base a la que se encuentra conectado otro móvil. Se incluyen dentro de los sistemas de red, todas aquellas bases de datos que apoyan a las distintas funciones del sistema.

#### ***1.6.11.3 Transmisión.***

Es la estructura de enlaces que soporta las comunicaciones entre los diversos elementos de red. Es un elemento importante en la planificación, dado que implica grandes costes de explotación, y al que no se presta la debida importancia por ser poco “llamativo” cuando se explican las funcionalidades y capacidades de una red celular. Este subsistema es común a cualquier red de telecomunicación.

#### ***1.6.11.4 Operación y Mantenimiento.***

Otro de los subsistemas importantes en una red celular es el subsistema de operación y mantenimiento. Suele quedar fuera de todos los planes de estudio, dado que el funcionamiento teórico de la red no necesita de este subsistema. No obstante, no sería posible mantener en un correcto funcionamiento una red de telecomunicaciones sin un sistema de operación y mantenimiento que permita detectar y corregir o, al menos, ayudar a corregir los posibles fallos que se producen a diario en cualquier red.

#### ***1.6.11.5 Explotación.***

Al igual que el anterior, el subsistema de explotación no suele aparecer en los libros de texto. Es más, los fabricantes de equipos de red sólo dotan a estos de un interfaz hacia el subsistema de explotación, que debe ser comprado o, en el mejor de los casos, desarrollado a medida para el operador.

El subsistema de explotación es el que permitirá al operador cobrar por el uso de su red, así como, administrar la base de datos de sus clientes y configurar sus perfiles de usuario en función de las políticas comerciales desarrolladas.

### **1.6.12 SISTEMAS ANALÓGICOS.**

En este sistema, el soporte en el que queda registrada la voz varía continuamente de modo similar (continuo) al de la señal que entra.

Todos los sistemas celulares mencionados se basan en técnicas de transmisión analógica de la voz, y los teléfonos sólo pueden utilizarse en cualquier punto que esté dentro del área de cobertura de la red del operador. Las técnicas de transmisión analógica asignan una frecuencia determinada a cada usuario. Esto implica que tanto si éste habla como si no, la frecuencia está ocupada mientras esté realizando la llamada.

Pronto resultó evidente que los sistemas analógicos tenían limitaciones.

- En primer lugar, la demanda potencial de servicios móviles era mucho mayor que la prevista para los sistemas existentes.
- En segundo lugar, estos últimos se excluían mutuamente: un usuario móvil de la red NMT sueca no podía, por ejemplo, utilizar la red británica, basada en el sistema *TACS* (sistema de comunicaciones de acceso total), y viceversa.
- Y en tercer lugar, ningún país europeo podía permitirse la gran inversión necesaria en infraestructura, si los únicos beneficios que cabía esperar eran los de su propio mercado nacional.

### **1.6.13 SISTEMAS DIGITALES.**

En la grabación digital, la señal se muestrea y se registra electrónicamente en forma de secuencia rápida de valores codificados por separado mediante códigos binarios intermitentes.

La tecnología digital de transmisión de la voz surgió como reacción frente a las dos principales limitaciones de los sistemas analógicos expuestas anteriormente:

- La asignación de una frecuencia en exclusiva a cada usuario y el escaso espectro de frecuencias disponible, que estaban conduciendo a una creciente sobrecarga de la capacidad de las redes.
- La incompatibilidad entre los distintos sistemas analógicos.

El problema de la capacidad limitada se solucionó mediante la técnica de reutilización del espectro de frecuencias asignado, así como mediante la utilización de la técnica de microcélulas. De este modo se podía dar servicio a un número de clientes muy superior.

## 1.7 Tráfico.

### 1.7.1 DEFINICIONES.

#### *1.7.1.1 Unidad de Tráfico.*

La unidad de tráfico es el Erlang. Se define como el número promedio de ocupaciones simultáneas durante un periodo de tiempo específico.

Otras unidades de tráfico son:

- Equated Busy Hour Call (EBHC). 1 EBHC = 1/30 Erlangs.
- Century (Hundred) Call Second. 1 CCS = 1/36 Erlang.

#### *1.7.1.2 Flujo de Tráfico.*

El flujo de tráfico es el volumen de tráfico por unidad de tiempo, el cual podemos calcular de la siguiente manera:

$$A = Y * S = N * \alpha$$

A: Tráfico.

N: Número de subscriptores.

$\alpha$ : Tráfico total por subscritor.

S: Tiempo promedio.

Y: Número de llamadas por unidad de tiempo.

#### *1.7.1.3 Demanda de Tráfico.*

Es el flujo de tráfico que se le ofrecería a un sistema libre de tráfico. Es una cantidad hipotética, no mensurable.

#### *1.7.1.4 Tráfico Ofrecido.*

Dependiendo de la demanda de tráfico, se ofrece un cierto flujo de tráfico a la red. Para estimar su valor se suma el número de ocupaciones y llamadas congestionadas y se multiplica por el tiempo promedio de ocupación.

#### *1.7.1.5 Carga de Tráfico.*

La carga de tráfico es la parte del tráfico ofrecido que ha sido aceptado. Lo podemos expresar como el número medio de ocupaciones simultáneas durante un periodo determinado.

#### *1.7.1.6 Tráfico Rechazado.*

El tráfico rechazado es la parte del tráfico ofrecido no aceptado debido a problemas como la congestión u otros fallos.

#### *1.7.1.7 Tráfico de Conversación.*

El tráfico de conversación es el tráfico entre usuarios y es una parte de la carga de tráfico. Podemos llamar al resto de la carga de tráfico: tráfico de tono de ocupado y tráfico de no respuesta.

### ***1.7.1.8 Intensidad de Llamadas.***

La intensidad de llamadas es el número de conversaciones por unidad de tiempo.

### ***1.7.1.9 Duración Media.***

La duración media de las llamadas la podemos calcular como:

$$S = T/Y$$

S: Duración media.

T: Flujo de tráfico.

Y: N° de llamadas por unidad de tiempo.

### ***1.7.1.10 Congestión.***

La congestión se produce cuando no se puede establecer una nueva conexión por falta de recursos en la red. Si no se produce congestión interna en el conmutador digital, la congestión se reduce a la que pueda producirse en las rutas (falta de dispositivos libres) o en las portadoras (falta de recursos radio).

Existen dos conceptos relacionados con la congestión:

- **Llamada congestionada (o llamada bloqueada).** Debido a la falta de recursos no se puede dar servicio de forma inmediata a una nueva llamada.
- **Tiempo de congestión.** Es el tiempo que pasa desde que se ocupa el último dispositivo libre hasta que se obtiene uno libre. Durante este tiempo no se puede dar servicio a nuevas llamadas.

## **1.7.2 TEORÍA DEL TRÁFICO**

La capacidad de un sistema celular depende de varios factores:

- El número de canales disponibles para voz y/o datos.
- La cantidad de tráfico generado por los usuarios.
- El grado de servicio que se quiere ofrecer a los usuarios.

El objetivo de la teoría de tráfico es la de obtener estimaciones de los recursos necesarios. Por ejemplo, el número de canales necesarios en una celda. Las estimaciones dependerán del sistema utilizado como del comportamiento de se espera que tendrán los usuarios. El tráfico se refiere a la utilización de los canales y se mide en unidades de Erlang.

Los conceptos principales son:

- Tráfico ofrecido ( $T_o$ ).
- Carga de tráfico ( $T_c$ ).
- Tráfico perdido ( $T_p$ ).

De los canales o dispositivos de un sistema hay que aceptar una proporción de llamadas perdidas por congestión ( $B$ ). De esta manera si ofrecemos a un canal o dispositivo una carga en Erlangs  $T_o$ ,  $B \times T_o = T_p$  será el tráfico perdido. El tráfico cargado será  $(1-B) \times T_o = T_c$ .

### 1.7.2.1 Grado de Servicio.

El grado de servicio es la probabilidad aceptable de que el sistema se congestione. Siempre hay que prever la posibilidad de congestión, dimensionando la red acorde al grado de servicio-coste de sistema deseado.

### 1.7.2.2 Sistema con pérdida de llamadas.

Un sistema con pérdidas de llamadas es utilizado en aquellos sistemas donde se rechaza la petición de un usuario en caso de no haber recursos libres.

Para estos sistemas podemos aplicar el modelo de tráfico Erlang B (definido por un teórico danés del tráfico), el cual se basa en presunciones comunes:

- Sin colas. Si no hay recursos se rechaza la petición del usuario.
- El número de usuarios es bastante más grande que el número de canales de tráfico.
- No se reservan (o dedican) canales de tráfico.
- El tráfico está distribuido según la curva de Poisson, es decir, el número de llamadas es elevado y las llamadas son independientes unas de las otras.
- Las llamadas congestionadas abandonan el intento de llamada.

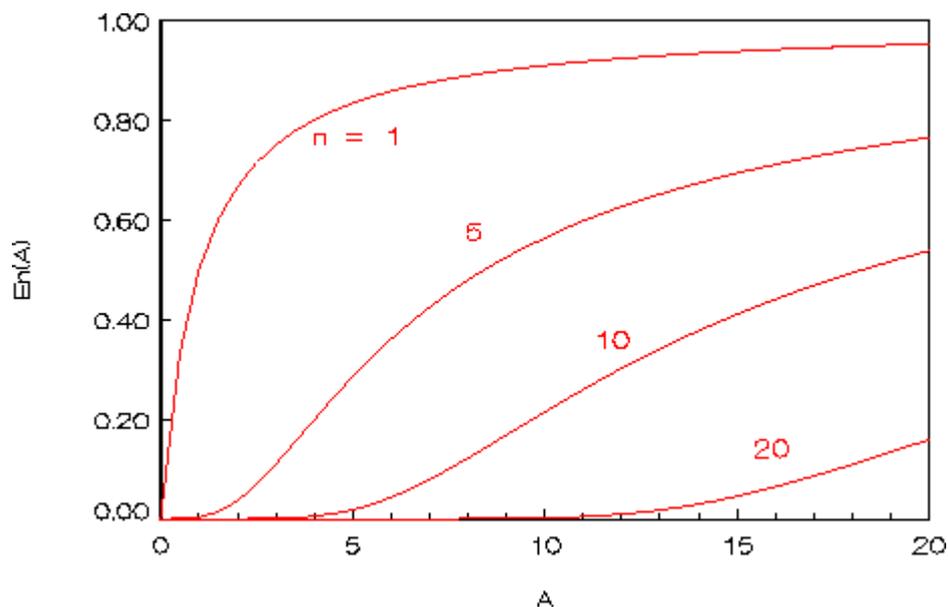


Figura 1.21. Modelo de tráfico de Erlang-B.

El modelo de tráfico Erlang B relaciona el número de canales de tráfico, el GoS y el tráfico ofrecido. A partir del grado de servicio que queremos ofrecer y el número de canales podemos determinar el tráfico que puede soportar el sistema. E igualmente a partir del grado de servicio y del tráfico ofrecido esperado podemos determinar los canales necesarios.

### ***1.7.2.3 Sistema con retraso.***

Los sistemas de retardo se caracterizan por disponer de un buffer donde se ponen todas las llamadas bloqueadas para las cuales no se disponían recursos libres. De esta manera las llamadas bloqueadas no se descartan, sino que se retardan (un tiempo de espera). La cola de llamadas es la principal diferencia entre los sistemas de espera y los sistemas de pérdida.

Para estos sistemas podemos aplicar el modelo de tráfico Erlang C, el cual se basa en la presunción de que , si están todos los recursos ocupados se forma una cola y esperan en orden de llegada hasta que se disponga de recursos libres.



## Capítulo 2. Telefonía móvil analógica. La 1ª generación.

<i>Capítulo 2. Telefonía móvil analógica. La 1ª generación.....</i>	<i>47</i>
<b>2.1. Introducción.....</b>	<b>48</b>
<b>2.2 La red TACS.....</b>	<b>49</b>
2.2.1 ANTECEDENTES .....	49
2.2.2 ARQUITECTURA .....	50
2.2.3 SUBSISTEMA DE RADIO .....	50
2.2.4 SUBSISTEMA DE CONMUTACIÓN .....	51
2.2.5 LA ESTACIÓN MÓVIL .....	52
2.2.6 PROCESOS BÁSICOS .....	52
2.2.7 SERVICIOS BÁSICOS QUE SOPORTA EL SISTEMA.....	54
2.2.8 OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO.....	54
2.2.9 EXPLOTACIÓN .....	54

## 2.1. Introducción.

Aunque sin ningún lugar a dudas los sistemas de telefonía móvil digital han reemplazado casi en su totalidad a los analógicos, conviene hacer una breve recapitulación sobre estos últimos, y ver cómo progresivamente han ido cediendo terreno a los digitales.

Los sistemas analógicos de 1ª generación surgen a finales de los 70 y principios de los 80. En 1978 se abre el primer servicio comercial en Japón (*NAMTS*), mientras que en 1981 los países nórdicos (Noruega, Suecia, Dinamarca y Finlandia) consiguieron el más alto índice de penetración de un sistema celular hasta el momento, con el estándar *NMT* (Nordic Mobile Telephony). Por otra parte, a finales de los 70 se realizan las primeras pruebas del sistema norteamericano *AMPS* (Advanced Mobile Phone System).

En nuestro país, Telefónica comenzó a proporcionar servicio con motivo del mundial de 1982, siguiendo el estándar *NMT* en la banda de 450 MHz. Eran terminales móviles no portátiles, se utilizaban en vehículos y estaban al alcance de muy pocos. La cobertura era bastante pobre y las células eran muy extensas. Este sistema evolucionó al *E-TACS*, haciéndose portátil progresivamente gracias al desarrollo de la microelectrónica. Popularmente es conocido como *Moviline*, y actualmente está en desuso. Las bandas de frecuencias concedidas inicialmente a *Moviline* (890-905 para el uplink y 935-950 para el downlink) están migrando progresivamente a *Movistar* y *Airtel*, sistemas de telefonía digital GSM en la banda de 900 MHz.

La modulación empleada en los canales vocales es FM de banda estrecha, bastante robusta frente al ruido, interferencias y desvanecimientos. La calidad vocal exigida es similar a la de un canal telefónico analógico, con anchos de banda en banda base aproximadamente de 3 kHz. Se trata de sistemas totalmente dúplex, de forma que en un instante dado la conversación en el sentido móvil-base se transmite por un canal radioeléctrico distinto a la conversación en el sentido base-móvil. Los canales se separan en frecuencia con lo que el acceso es FDMA.

El ancho de banda de modulación en *Moviline* es aproximadamente de 25 kHz, con lo cual, dado que el espectro total son 15 MHz, es posible ubicar 600 canales (vocales y de control), insuficientes para las necesidades actuales.

Una de las pocas ventajas de los sistemas analógicos es la ausencia de un umbral para poder establecer la comunicación; si la cobertura es pobre se puede escuchar al interlocutor con ruido de fondo pero sin cortes, algo parecido a cuando escuchamos una emisora de radio lejana. Sin embargo posee numerosos inconvenientes: uno de ellos era la posible congestión del espectro en caso de aumentar el número de abonados; otro, la ausencia de un estándar internacional. Debido a que el mercado de la telefonía móvil comenzó a ser exclusivamente nacional, multitud de estándares incompatibles comenzaron a surgir en distintos países. Incluso la rápida evolución de los distintos sistemas provocó la coexistencia de varios de ellos en un mismo país, llegándose incluso a situaciones en las que un equipo podía funcionar en unas ciudades, pero no en otras.

Era necesario buscar un sistema digital y común a nivel internacional. El hecho de establecer un único estándar supone ventajas tanto para los operadores, como para los usuarios. El precio de los equipos se reduce notablemente, ya que se entra en una economía de gran escala, y así, existe mucha más demanda por parte de los usuarios y mayores márgenes de beneficios para los operadores. Además, el usuario se ve muy beneficiado por el hecho de que su equipo es útil en cualquier parte del mundo que adopte el sistema.

## **2.2 La red TACS.**

### **2.2.1 ANTECEDENTES**

El Sistema de Comunicaciones de Acceso Total (TACS, Total Access Communications System) es un sistema de comunicaciones para telefonía móvil celular dúplex en la banda de 900 MHz.

El precursor del sistema TACS es el sistema AMPS (American Mobile Phone System), desarrollado en los EE.UU. por los laboratorios Bell en la década de los 70, y puesto en servicio en la primera mitad de la década de los 80. El sistema TACS fue desarrollado por el Reino Unido, adaptando el sistema AMPS a los requisitos europeos (especialmente en los aspectos de banda de frecuencia y canalización), y puesto en servicio en 1985.

En el Reino Unido se concedieron dos licencias para operar cada una con su red propia. Para ello, la banda original (890-915 MHz y 935-960 MHz) de 1000 canales se dividió en dos segmentos de 300 canales cada uno, dejando la subbanda 905-915 MHz y 950-960 MHz para la introducción posterior del sistema GSM. Posteriormente, se amplió la banda añadiendo los rangos 872-890 MHz y 917-935 MHz para otorgar la capacidad requerida. Esta nueva banda toma la denominación de E-TACS (Extended TACS).

A principio de esta década de los 90, otros países como Austria, Italia y España adoptaron también este sistema. En Telefónica Móviles, este sistema se denomina comercialmente “MoviLine”.

Algo importante que se debe tener en cuenta es que el estándar TACS define tan sólo el protocolo de acceso radio entre una estación móvil y su correspondiente estación base. La gestión de la movilidad o lo que es igual, las facilidades de “handover” y “roaming” soportadas por el sistema, así como la estructura y comunicaciones entre los distintos elementos de la red quedan a criterio del fabricante.

### **2.2.2 ARQUITECTURA**

La arquitectura de una red TACS se basa en una serie de estaciones de base, cada una de las cuales se compone de equipos de radio (transmisor y receptor) y un controlador de estación base (BSC) encargado del interfaz entre el equipo de radiofrecuencia y la central de conmutación móvil o EMX (Electronic Mobile Exchange). Esta última debe proporcionar la capacidad de conmutar llamadas entre las distintas estaciones base y hacer de tránsito entre la red móvil y otras redes a las que esta última se conecte.

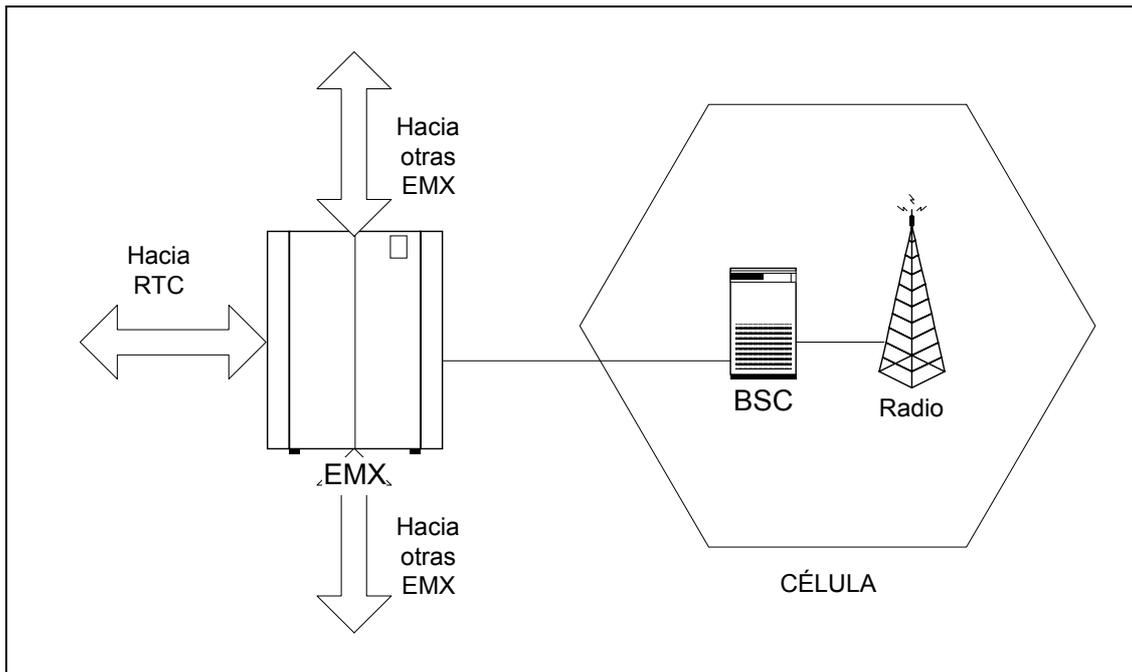


Figura 2.1. Red TACS.

Cada BSC controla una sola célula. Una EMX se conecta, a través de líneas de voz y de datos a varias estaciones de base o células.

### **2.2.3 SUBSISTEMA DE RADIO**

Es el responsable de establecer el enlace entre la red y las estaciones móviles. Los elementos que componen el subsistema de radio son las estaciones de base.

La banda celular del sistema / banda TACS/E-TACS se divide en dos subbandas.

En la figura se muestra esta división.

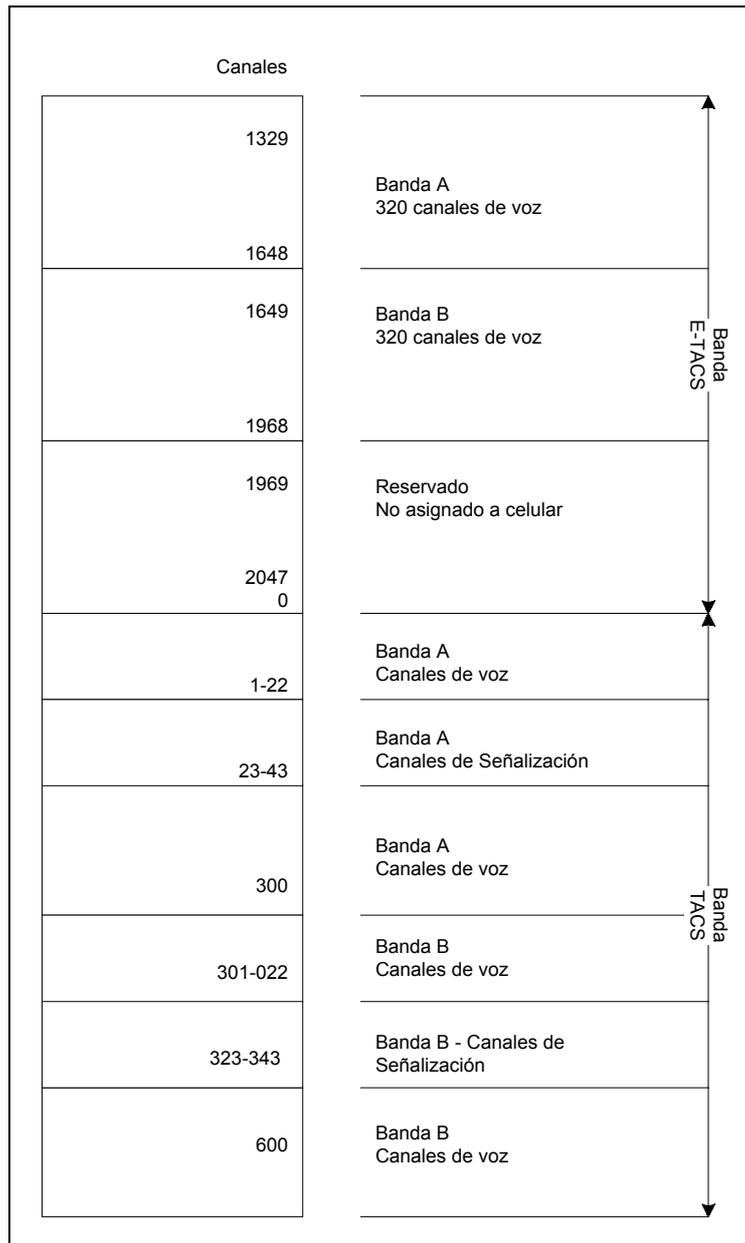


Figura 2.2. Subbandas de TACS/ETACS.

La separación entre canales es de 25 kHz. En España, se utiliza la denominada banda B, lo que permite hasta 600 canales de voz (280 en la banda TACS y otros 320 en la banda E-TACS).

#### **2.2.4 SUBSISTEMA DE CONMUTACIÓN**

El sistema de conmutación está compuesto por una o varias centrales de conmutación, denominadas EMX (Electronic Mobile Exchange), cuyas funciones principales son las siguientes:

- Encaminar las llamadas originadas en los móviles hacia el destino adecuado.
- Finalizar en el móvil adecuado las llamadas a él dirigidas.
- Coordinar el proceso de handover.
- Registrar todo el tráfico que gestiona el sistema.

Cada EMX tiene la capacidad de interconectarse con la RTC, para lo que utiliza enlaces dedicados a 2 Mbps. El sistema de señalización utilizado dependerá de la capacidad de las centrales a las que se conecta la EMX, pudiendo así manejarse UIT-T n°7, R2, DTMF, etc... Esta señalización debe ser suficiente para soportar el control de la llamada.

Además, cada EMX se conecta directamente a otras EMX, formando lo que se denomina una “red celular cooperante” o DMX (Distributed Mobile Exchange). La conexión entre centrales puede obedecer a un protocolo de señalización propietario. Si se requiere introducir centrales de otros fabricantes, o si se necesita que los clientes propios puedan hacer uso de otra red, es necesario implementar el protocolo estandarizado de señalización IS-41 entre las centrales.

Las funciones de HLR y VLR están integradas en cada una de las EMX, aunque en los últimos años se ha desarrollado la posibilidad de implementar un HLR independiente.

### **2.2.5 LA ESTACIÓN MÓVIL**

Es el elemento final del sistema. Existe una gran variedad de diseños posibles, pero en general, se distinguen cuatro categorías:

- Estaciones montadas sobre vehículos.
- Estaciones transportables.
- Estaciones portátiles de bolsillo.
- Estaciones fijas (utilizadas en España para permitir acceso radio en bucle de abonado, también denominado WLL, que complementa a la telefonía fija en zonas de difícil acceso mediante par de cobre).

En todos los casos, en la estación móvil es necesario programar los datos específicos del cliente, entre los que se encuentra el número de abonado.

### **2.2.6 PROCESOS BÁSICOS**

#### ***2.2.6.1 Registro***

Cada teléfono móvil posee su propia identidad, y está asignado a un área de localización. Esto permite que los mensajes de control sean enviados a un solo móvil a través de los canales de control del área de localización. Cada teléfono móvil está asignado a una central EMX (en el HLR) que guarda, además de los datos relativos a la suscripción, la información de la localización (dirección de la EMX/VLR) de sus móviles activos. Cada vez que el teléfono móvil se mueve entre áreas de localización, éste envía automáticamente un mensaje para actualizar el área de localización en la que se encuentra. Esto permite un uso eficiente de los canales de control y mejora la capacidad de tratamiento de las llamadas.

Cuando se enciende el teléfono móvil, éste explora los canales de control del sistema y sintoniza aquél cuya señal es más fuerte, permaneciendo sintonizado a dicho canal hasta que la señal baja de un cierto umbral. El sistema utiliza los canales de control para dos tipos de mensajes:

- Información general del sistema, para todos los móviles.
- Información de control dedicada a un teléfono móvil en particular.

La información general del sistema contiene la identificación de la red, detalles de los canales disponibles en este área, servicios y requisitos especiales y el código de área. Comparando el código de área recibido con el memorizado, el móvil determina cuando es necesario realizar un nuevo registro.

La información de control dedicada incluye mensajes de búsqueda para notificar a un móvil particular de la entrada de una llamada y mensajes de asignación de canal durante el establecimiento de la comunicación.

#### ***2.2.6.2 Roaming***

Es el proceso de cambiar desde el área de localización de la central propia al área de localización de otra central. El móvil visitante se registra en la EMX/VLR visitada, para lo cual dicha EMX/VLR debe solicitar los datos de la suscripción de dicho cliente a su EMX/HLR. Si todo es correcto, la EMX/VLR permitirá el servicio al cliente visitante, mientras que la EMX/HLR registrará la nueva dirección de su cliente.

#### ***2.2.6.3 Establecimiento de llamada***

El usuario marca el número de teléfono en la unidad móvil y activa la función de envío (tecla de SEND).

El móvil espera a que el canal de control le dé la indicación de libre. Cuando el móvil detecta esta condición de disponibilidad, transmite su identificación y el número de teléfono marcado en el canal de control.

En la recepción de la petición de llamada, la EMX comprueba el estado del móvil y comienza el proceso de dicha llamada. Se envía un mensaje al móvil, asignándole un canal de voz, y el móvil se resintoniza a éste. La EMX conecta el canal de voz por la ruta disponible y comienza la conversación. Cuando finaliza la llamada, se desactivan las conexiones y el móvil retorna a su estado de reposo.

#### ***2.2.6.4 Handover***

Durante la conversación, la estación de base comprueba el nivel de señal recibida y se envían mensajes al móvil para ajustar la potencia de transmisión. Si el nivel recibido llega a ser muy bajo, la EMX muestrea las estaciones de base próximas para determinar cuál puede dar un mejor servicio. Se avisa al móvil sobre el nuevo canal que va a ser usado y la EMX realiza la conmutación a la nueva estación. La conmutación se realiza automáticamente y sin que la conversación se interrumpa. Este proceso se puede repetir tantas veces como sea necesario durante la llamada.

### ***2.2.6.5 Recepción de llamada***

Cuando la EMX recibe una petición de llamada para un determinado teléfono móvil, da orden a las estaciones de base del área de localización donde se encuentra para que envíen un mensaje de búsqueda. Cuando la estación móvil recibe el mensaje, ésta informa al sistema de que ha recibido el mensaje a través de un determinado canal de control y espera la asignación de un canal vocal. Con la respuesta del móvil, la EMX determina qué estación de base está más cerca del móvil y conecta la llamada de entrada a un canal vocal de ésta. Se indica al móvil que sintonice el canal vocal asignado y active su dispositivo de aviso (timbre). Cuando el usuario contesta, se conectan las dos partes y comienza la conversación.

Cuando la llamada termina, la EMX desactiva las conexiones y el móvil retorna a su estado de reposo.

### **2.2.7 SERVICIOS BÁSICOS QUE SOPORTA EL SISTEMA**

Este capítulo será variable en función del fabricante del equipo. Dado que el TACS sólo especifica los accesos radio, todos los servicios que pueda soportar el sistema se basan en la capacidad de diseño e implementación del propio fabricante así como la utilización de los métodos de transmisión de señalización disponibles en el estándar entre el móvil y la red. Servicios generalmente implementados son:

- La multiconferencia.
- La llamada en espera.
- El desvío, condicional o incondicional.

Para activar estas funciones, el usuario debe enviar a la red a través de un proceso de establecimiento de llamada, un código especial, que generalmente está compuesto de dígitos y precedido de un carácter especial, tales como \*71 o \*72.

### **2.2.8 OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO**

Análogamente a lo comentado hasta ahora, el sistema de Operación y Mantenimiento es propietario del fabricante que haya suministrado el equipo. En el mejor de los casos, el fabricante podrá poner a disposición del operador herramientas o la interfaz que permitiría a este desarrollar su propio sistema de operación y mantenimiento, aunque no suele ser recomendable.

### **2.2.9 EXPLOTACIÓN**

Igual que ocurre con el sistema de Operación y Mantenimiento, es el fabricante del sistema el que determina las variables que pueden extraerse del sistema para su explotación, así como los métodos de obtener dichos datos. No obstante, los fabricantes de sistemas de conmutación no suelen fabricar además sistemas de explotación, por lo que el fabricante de conmutación proporciona la interfaz de explotación con el sistema.

## Capítulo 3. GSM. La 2ª generación.

<b>Capítulo 3. GSM. La 2ª generación.....</b>	<b>55</b>
<b>3.1 Introducción. Una visión general. ....</b>	<b>57</b>
3.1.1 EL NACIMIENTO DEL GSM. ....	57
3.1.2 ESPECIFICACIONES GSM. ....	59
3.1.3 PARAMETRIZACIÓN DE UNA RED GSM. ....	60
3.1.4 ESQUEMA DE UNA RED GSM GENÉRICA. ....	61
3.1.5 SERVICIOS. ....	63
3.1.6 OTRAS REDES DIGITALES. ....	66
<b>3.2 Estación Móvil (MS).....</b>	<b>67</b>
3.2.1 TERMINAL MÓVIL. ....	67
3.2.2 LA TARJETA SIM. ....	68
<b>3.3 Subsistema de estaciones base (BSS).....</b>	<b>70</b>
3.3.1 CONTROLADOR DE ESTACIONES DE BASE ,BSC (BASE STATION CONTROLLER).....	72
3.3.2 ESTACIÓN BASE, BTS (BASE TRANSCEIVER STATION). ....	73
3.3.3 PLANIFICACIÓN CELULAR.....	76
3.3.4 LA RED DE TRANSPORTE. CONFIGURACIONES, DIVERSIDAD, TOPOLOGÍAS.....	81
3.3.5 INTERFERENCIAS Y CAPACIDAD DEL SISTEMA .....	87
<b>3.4 Subsistema de Conmutación, NSS (Network Subsystem Switching).....</b>	<b>89</b>
3.4.1 MSC (MOBILE SERVICES SWITCHING CENTER).....	89
3.4.2 GMSC (GATEWAY MSC).....	89
3.4.3 HLR (HOME LOCATION REGISTER).....	89
3.4.4 VLR (VISITOR LOCATION REGISTER).....	90
3.4.5 AUC (AUTHENTICATION CENTER).....	90
3.4.6 EIR (EQUIPMENT IDENTITY REGISTER).....	91
3.4.7 NODOS OPCIONALES.....	92
<b>3.5 Subsistema de operación y mantenimiento (OSS).....</b>	<b>93</b>
3.5.1 INTRODUCCIÓN A LA HERRAMIENTA OMC.....	93
3.5.2 GESTIÓN DE FALLOS.....	94
3.5.3 GESTIÓN DE TEST.....	94
3.5.4 GESTIÓN DE LA CALIDAD.....	95
3.5.5 GESTIÓN DE LA DIFUSIÓN EN CELDAS.....	95
3.5.6 GESTIÓN DE LA CONFIGURACIÓN.....	96
3.5.7 GESTIÓN DEL SOFTWARE.....	96
<b>3.6 Procesos básicos.....</b>	<b>98</b>
3.6.1 INTRODUCCIÓN.....	98
3.6.2 ENTIDADES NUMÉRICAS.....	99
3.6.3 REGISTRO.....	101
3.6.4 GESTIÓN DE LA LOCALIZACIÓN .....	102
3.6.5 LOCATION UPDATING.....	102
3.6.6 ESTABLECIMIENTO DE LLAMADA .....	106
3.6.7 RECEPCIÓN DE LLAMADA .....	106
3.6.8 LLAMADA DE MÓVIL A FIJO.....	107
3.6.9 LLAMADA DE FIJO A MÓVIL.....	107
3.6.11 HANDOVER O TRASPASO.....	109
3.6.10 ROAMING O FUNCIÓN DE SEGUIMIENTO.....	113
3.6.12 FLUJOS DE MENSAJES EN EL SISTEMA BSS.....	114
3.6.13 SERVICIO DE MENSAJES CORTOS, SMSC.....	121
<b>3.7 Interfaces GSM y protocolos del sistema BSS.....</b>	<b>124</b>
3.7.1 PROTOCOLOS DEL INTERFACE UM (ENTRE MÓVIL Y BTS).....	125
3.7.2 PROTOCOLOS DEL INTERFACE ABIS (ENTRE BTS Y BSC).....	133

3.7.3 PROTOCOLOS DEL INTERFACE A (ENTRE BSC Y MSC).....	134
3.7.4 INTERFAZ B (VLR Y MSC ASOCIADOS).....	134
3.7.5 INTERFAZ C (HLR-GMSC).....	135
3.7.6 INTERFAZ D (HLR-VLR).....	135
3.7.7 INTERFAZ E (MSC-MSC).....	135
3.7.8 INTERFAZ F (MSC-EIR).....	135
3.7.9 INTERFAZ G (VLR-VLR).....	135
3.7.10 INTERFAZ H (HLR-AUC).....	135
<b>3.8 Señalización de red (NSS).....</b>	<b>136</b>
3.8.1 CONCEPTOS GENERALES DE SEÑALIZACIÓN.....	136
3.8.2 MAP.....	137
3.8.3 BSSAP.....	137
3.8.4 ISUP.....	138
3.8.5 INAP.....	138
3.8.6 USSD (UNSTRUCTURED SUPPLEMENTARY SERVICES DATA).....	139
<b>3.9 Tarificación.....</b>	<b>140</b>
3.9.1 REGISTRO DE LOS DATOS RELATIVOS A LAS LLAMADAS.....	140
3.9.2 TRANSFERENCIA DE LOS DATOS DE LAS LLAMADAS.....	140
3.9.3 RECOGIDA Y PROCESAMIENTO DE DATOS.....	140
<b>3.10 Gestión de la Seguridad.....</b>	<b>141</b>
3.10.1 AUTENTICACIÓN.....	141
3.10.2 ENCRIPTADO.....	142
3.10.3 PROTECCIÓN DE LA IDENTIDAD DEL USUARIO.....	142

## 3.1 Introducción. Una visión general.

### 3.1.1 EL NACIMIENTO DEL GSM.

Desde principios de los '80 se hizo evidente para algunos países europeos, que los sistemas analógicos de la época tenían limitaciones. En primer lugar, la demanda potencial para los servicios móviles, aunque estaba siendo sistemáticamente subestimada, era mayor que la capacidad de las redes analógicas existentes. En segundo lugar, los diferentes sistemas existentes no ofrecían compatibilidad para sus usuarios: un terminal TACS no puede acceder a una red NMT ni viceversa. Lo que es más, el diseño de un sistema celular nuevo requiere tal inversión que ningún país europeo puede acometerla de forma independiente, si el único retorno esperado está sólo en su propio mercado nacional. Todas estas circunstancias apuntaban hacia el diseño de un sistema nuevo, desarrollado en común entre varios países.

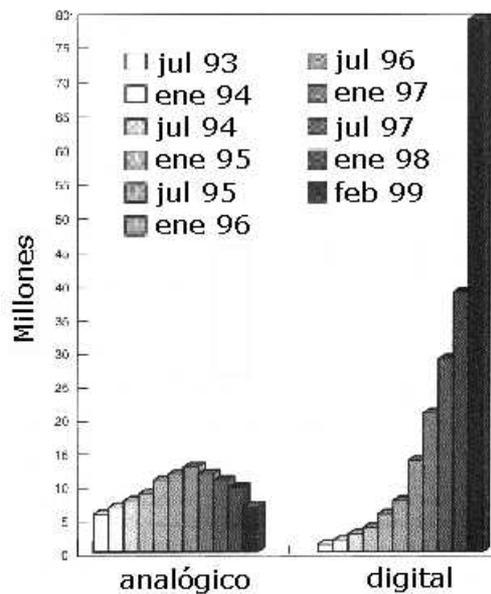


Figura 3.1. Usuarios de sistemas analógicos y digitales.

El mayor requisito para un sistema de radio común es un ancho de banda común. Esta condición se cumplía unos años antes, en 1978, cuando se decidió reservar una banda de frecuencia de dos veces 25 MHz en torno a los 900 MHz para comunicaciones móviles en Europa. La necesidad estaba clara y el mayor obstáculo había sido eliminado. Sólo quedaba organizar el trabajo. El mundo de las telecomunicaciones en Europa siempre estuvo dominado por la estandarización. La CEPT (Conférence Européenne des Postes et Télécommunications) es un foro de estandarización que, en los primeros '80, incluía a las administraciones europeas de Correos y Telecomunicaciones de más de 20 países. Todas estas circunstancias llevaron a la creación en 1982 de un nuevo organismo de estandarización en la CEPT, cuya labor consistía en especificar un sistema único de telecomunicaciones para Europa, en 900 MHz. El recién creado "Groupe Spécial Mobile" (GSM) tuvo su primera reunión en diciembre de 1982, en Estocolmo.

En 1990, bajo petición del Reino Unido, se añadió a los objetivos del grupo de estandarización la especificación de una versión de GSM adaptada a la banda de frecuencias de 1800 MHz, con una asignación de 2 veces 75 MHz. Esta variante, que se conoció con el nombre de DCS1800 (Digital Cellular System 1800), tiene como objetivo proporcionar mayor capacidad en áreas urbanas.

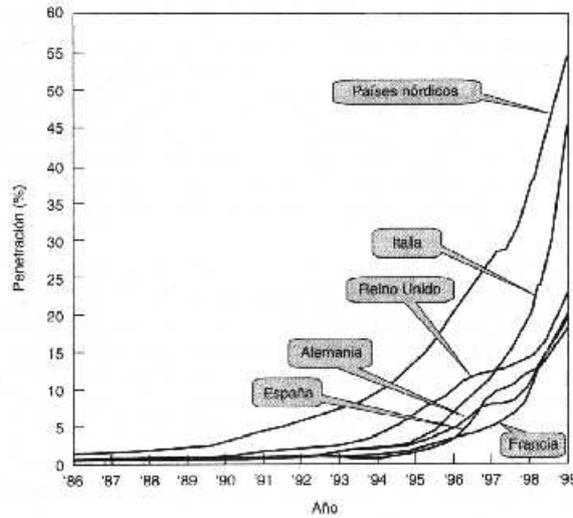


Figura 3.2. Desarrollo de las comunicaciones móviles en Europa.

La elaboración del estándar GSM llevó casi una década. En la siguiente tabla se muestran los principales hitos del proceso.

<b>Fecha</b>	<b>Logro</b>
<b>1982</b>	Se crea el "Groupe Spécial Mobile" en la CEPT
<b>1986</b>	Se establece un núcleo permanente
<b>1987</b>	Aligen las técnicas básicas de transmisión por radio, basadas en la evaluación de prototipos (1986)
<b>1989</b>	El GSM se convierte en un comité técnico de ETSI
<b>1990</b>	Se congelan las especificaciones técnicas fase 1 del GSM900 (escritas entre 1987 y 1990)
<b>1991</b>	Funcionan los primeros sistemas (exposición Telecom '91) Se congelan las especificaciones DCS1800
<b>1992</b>	Los principales operadores GSM900 europeos inician la operación comercial del servicio

Tabla 3.3. Hitos en la elaboración del estándar GSM

### **3.1.2 ESPECIFICACIONES GSM.**

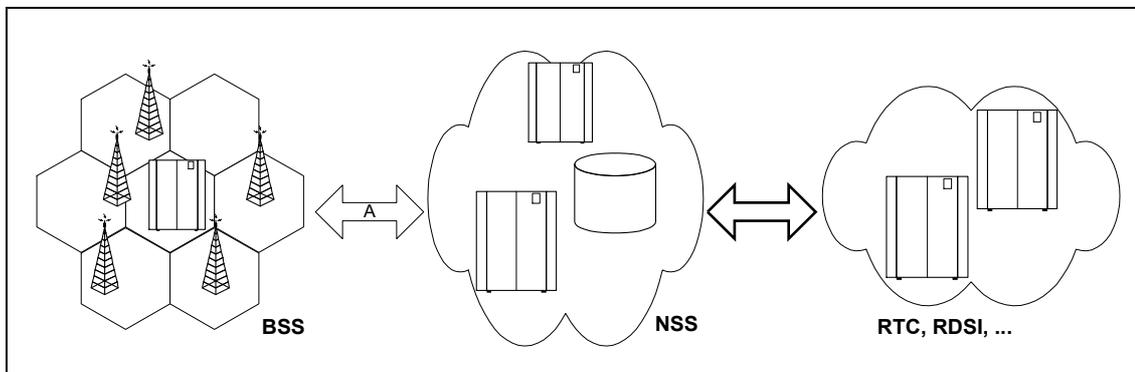
La arquitectura del sistema GSM descrita en las especificaciones técnicas no describe los nodos y elementos que se pueden encontrar en el sistema, primero porque se ha dejado cierto grado de libertad a los fabricantes para el desarrollo de estos y, segundo, porque dichas especificaciones sólo cubren una pequeña parte de la especificación de una máquina real. La arquitectura puede verse como la descripción de un modelo de red que sirve como plantilla para su implementación. Lo que sí se describe con total detalle en las especificaciones son las interfaces entre dos “modelos” de máquina.

La arquitectura GSM distingue claramente dos partes:

- **BSS** (Base Station Subsystem o Subsistema de Estación de Base). Encargado de proporcionar y gestionar el interfaz radio entre las estaciones móviles y el resto del GSM.
- **NSS** (Network and Switching Subsystem o Subsistema de Red y Conmutación). Gestiona las comunicaciones y conectar las estaciones móviles a las redes adecuadas o a otras estaciones móviles.

El NSS El NSS no está en contacto directo con las estaciones móviles y el BSS tampoco está en contacto directo con otras redes externas.

El interfaz entre el BSS y la estación móvil es el denominado interfaz radio (Um), mientras que el interfaz entre el BSS y el NSS se ha denominado interfaz A en las especificaciones.



*Figura 3.4. Subsistemas de la Red GSM.*

### **3.1.3 PARAMETRIZACIÓN DE UNA RED GSM.**

#### ***3.1.3.1 Espectro de frecuencias y distancia dúplex.***

El sistema GSM tiene asignadas las siguientes bandas de frecuencia:

	<b><i>GSM</i></b>	<b><i>DCS1800</i></b>	<b><i>PCN 1900</i></b>
<b><i>Uplink</i></b>	<i>890-915 MHz</i>	<i>1710-1785 MHz</i>	<i>1850-1910 MHz</i>
<b><i>Downlink</i></b>	<i>935-960 MHz</i>	<i>1805-1880 MHz</i>	<i>1930-1990 MHz</i>
<b><i>Distancia Dúplex</i></b>	<i>45 MHz</i>	<i>95 MHz</i>	<i>80 MHz</i>

*Tabla 3.5. Comparativa del espectro empleado.*

Entre la estación base que proporciona la cobertura y el móvil hay muchos flujos de información. Esta información se divide en diferentes canales lógicos. Cada canal lógico se utiliza para un propósito específico, como puede ser establecimiento de la llamada o la transmisión de la voz.

#### ***3.1.3.2 Canales y separación entre canales.***

La separación entre portadoras (canales adyacentes) es de 200 KHz, lo que proporciona:

124 pares de portadoras en la banda de GSM.

374 pares de portadoras en la banda de DCS1800.

La frecuencia de cada canal para GSM 900 se puede calcular como:

$$F_u(N) = 890,2 + 0,2 * (N-1) \text{ MHz}$$

$$F_d(N) = F_u(N) + 45 \text{ MHz}$$

$$N = 0 \dots 124$$

Y la frecuencia de cada canal para DCS 1800 se puede calcular como:

$$F_u(N) = 1710,2 + 0,2 * (N-512) \text{ MHz}$$

$$F_d(N) = F_u(N) + 95 \text{ MHz}$$

$$N = 512 \dots 885$$

#### ***3.1.3.3 Velocidad de tx.***

La velocidad de transmisión es de 270 kbits/seg.

#### ***3.1.3.4 Método de modulación.***

La modulación es GMSK (Gaussian minimum shift keying), que es un tipo especial de FSK. Proporciona un ancho de banda más estrecho y mayor resistencia al ruido. El ancho de banda de transmisión se reduce a costa de introducir interferencias entre símbolos, ya que no cumple el criterio de Nyquist.

**3.1.3.5 Método de acceso.**

Para disponer de más canales de tráfico se utiliza una división en el tiempo, es decir una misma frecuencia es utilizada simultáneamente por varios móviles haciendo una división temporal. Esta técnica es lo que se llama “Time Division Multiple Access” (TDMA) y de esta forma se tienen hasta 8 “Times Slots” o canales de tráfico.

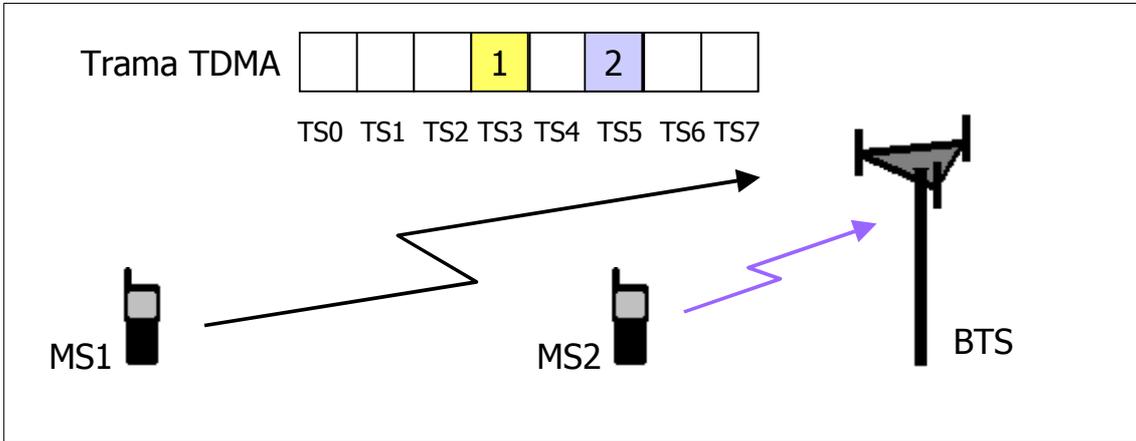
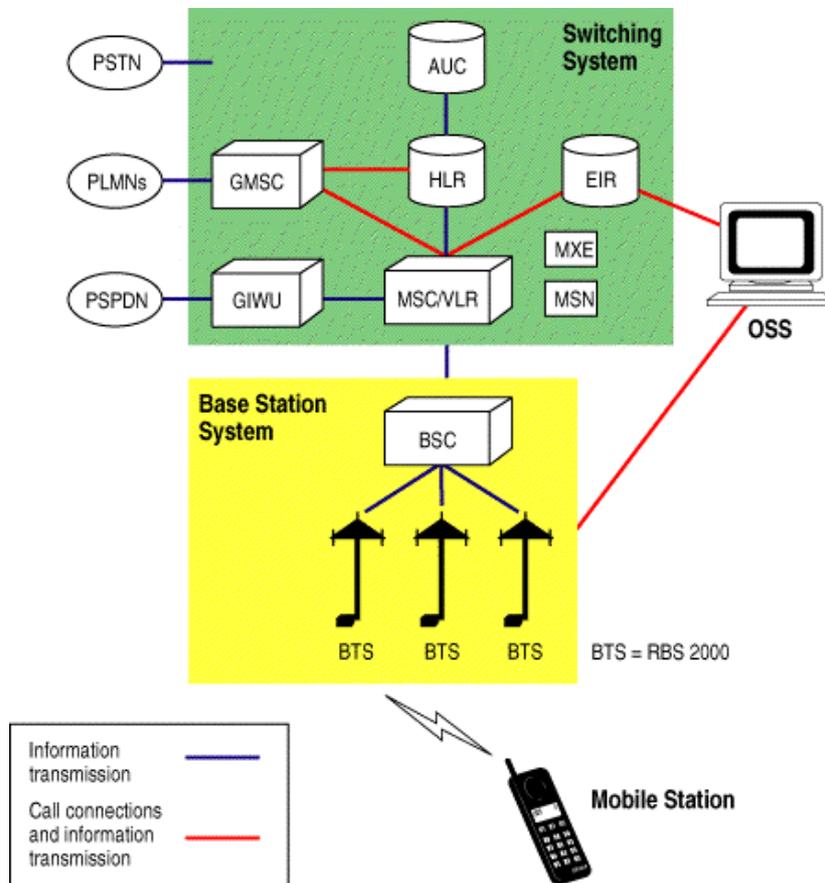


Figura 3.6. TDMA en GSM.

**3.1.4 ESQUEMA DE UNA RED GSM GENÉRICA.**

Una red GSM está compuesta por los elementos que se ven en la figura.



*Figura 3.7. Esquema de una red GSM genérica e interacción con otras redes.*

Para su mejor comprensión se puede dividir en tres sistemas principales:

- Network Switching System o Subsistema de red y conmutación (NSS).
- Base Station System o subsistema de estaciones base (BSS).
- Operation an Support System o subsistema de operación y mantenimiento (OSS).

Cada uno de estas partes está compuesto por un conjunto de nodos, y todos juntos constituyen el sistema completo.

NSS es la parte que se encarga de todo el procesado de llamadas y de todas las funciones relacionadas con el abonado. Está formado por los siguientes nodos:

- Mobile Switching Center (MSC).
- Home location Register (HLR).
- Visitor Location Register (VLR).
- Authentication Center (AUC).
- Equipment identity Register (EIR).

BSS se ocupa de todas las funciones relacionadas con la parte de radio y está formado por los nodos:

- Base Station Controller (BSC).
- Base Transceiver Station (BTS).

OSS se encarga por una parte de manejar todas las alarmas y errores que se producen en los distintos elementos y por otra proporciona el acceso a estos elementos para su reparación o para realizar cambios en ellos.

### **3.1.5 SERVICIOS.**

#### ***3.1.5.1 Servicios Básicos.***

Los servicios básicos son intrínsecos a cualquier sistema de telefonía y son por ejemplo la “telefonía” o el “fax”.

Los servicios básicos soportados por la red GSM son los siguientes:

- Datos asíncronos, por conmutación de circuitos, a 300, 1.200, 1.200/75, 2.400, 4.800 y 9.600 bit/s.
- Datos síncronos, por conmutación de circuitos, a 300, 1.200, 1.200/75, 2.400, 4.800 y 9.600 bit/s.
- Acceso asíncrono a PAD a 300, 1.200, 1.200/75, 2.400, 4.800 y 9.600 bit/s.
- Acceso síncrono (paquetes) a redes de conmutación de paquetes a 2.400, 4.800 y 9.600 bit/s.
- Telefonía alternada con datos.

Los servicios básicos de telecomunicación se dividen a su vez en dos categorías:

- **Servicios portadores.** Los servicios portadores proporcionan la capacidad de transferencia entre terminales conectados a la red GSM local (HPLMN), así como con equipos conectados a otras redes: RTB, RDSI, etc. Abarcan funciones relativas a los tres primeros niveles de la torre OSI, es decir, atributos de bajo nivel (Low Layer Capability).
- **Teleservicios.** Los Teleservicios son aquellos servicios de Telecomunicación que proporcionan plena capacidad de comunicación entre usuarios o terminales, de acuerdo a protocolos preestablecidos. Así pues, los teleservicios están caracterizados por atributos asociados a los niveles 1-3 de red (Low Layer Capability) y a los niveles superiores (High Layer Capability). Un Teleservicio se caracteriza por tanto, por una capacidad portadora más una serie de atributos de nivel superior. Los teleservicios soportados por la red GSM son los siguientes:
  - Telefonía (*speech*)
  - Llamadas de emergencia.
  - Servicio de Mensajes Cortos.
  - Servicios de fax:
  - Fax automático grupo 3.
  - Servicio alternado de telefonía y fax (gr. 3).

### ***3.1.5.2 Servicios Suplementarios.***

Un servicio suplementario es un servicio añadido que complementa a un servicio básico de telecomunicación:

- Desvío de llamada.
- Restricción de llamadas.
- Llamada en espera.
- Llamadas congeladas.
- Conversaciones en grupo.
- Grupo cerrado de usuarios.
- Informe del gasto.
- Servicios de datos suplementarios no estructurados. Ofrece unos enlaces abiertos entre la red y el usuario para servicios definidos por el operador.
- Prohibiciones del operador. Restricción a un usuario, por parte del operador, de diferentes servicios o tipos de llamadas.

Los servicios de datos se caracterizan por atributos transparentes o no transparentes, tal y como se explicará posteriormente.

En la tabla siguiente se recoge algunos de los servicios portadores y teleservicios soportados en la actualidad por un sistema GSM. Hay que indicar que no tienen porqué ofrecerse todos ellos comercialmente.

<i>Nombre</i>	<i>Descripción</i>
<i>BS 21</i>	<i>Datos asíncronos 300 b.p.s.</i>
<i>BS 22</i>	<i>Datos asíncronos 1.2 Kb.p.s.</i>
<i>BS 23</i>	<i>Datos asíncronos 1200 / 75 b.p.s.</i>
<i>BS 24</i>	<i>Datos asíncronos 2.4 Kb.p.s.</i>
<i>BS 25</i>	<i>Datos asíncronos 4.8 Kb.p.s.</i>
<i>BS 26</i>	<i>Datos asíncronos 9.6 Kb.p.s.</i>
<i>BS 31</i>	<i>Datos síncronos 1.2 Kb.p.s.</i>
<i>BS 32</i>	<i>Datos síncronos 2.4 Kb.p.s.</i>
<i>BS 33</i>	<i>Datos síncronos 4.8 Kb.p.s.</i>
<i>BS 34</i>	<i>Datos síncronos 9.6 Kb.p.s.</i>
<i>BS 41</i>	<i>Acceso asíncrono a PAD 300 b.p.s.</i>
<i>BS 42</i>	<i>Acceso asíncrono a PAD 1.2 Kb.p.s.</i>
<i>BS 43</i>	<i>Acceso asíncrono a PAD 1200 / 75 Kb.p.s.</i>
<i>BS 44</i>	<i>Acceso asíncrono a PAD 2.4 Kb.p.s.</i>
<i>BS 45</i>	<i>Acceso asíncrono a PAD 4.8 Kb.p.s.</i>
<i>BS 46</i>	<i>Acceso asíncrono a PAD 9.6 Kb.p.s.</i>
<i>BS 51</i>	<i>Acceso síncrono paquetes 2.4 Kb.p.s.</i>
<i>BS 52</i>	<i>Acceso síncrono paquetes 4.8 Kb.p.s.</i>
<i>BS 53</i>	<i>Acceso síncrono paquetes 9.6 Kb.p.s.</i>
<i>BS 61</i>	<i>Datos y telefonía alternados</i>
<i>BS 81</i>	<i>Telefonía seguida de datos</i>
<i>TS 11</i>	<i>Telefonía.</i>
<i>TS 21</i>	<i>Mensajería</i>
<i>TS 61</i>	<i>Telefonía seguida de fax</i>
<i>TS62</i>	<i>Fax automático gr. 3</i>

*Tabla 3.8. Servicios Portadores y Teleservicios en GSM*

La utilización de un servicio básico o suplementario por parte del usuario requiere de una contratación previa del mismo. Por norma general, cualquier operador GSM, al gestionar un alta, ofrece un paquete de servicios básicos y teleservicios por defecto, más una serie de opciones o servicios que requieren de una contratación aparte.

**3.1.6 OTRAS REDES DIGITALES.**

	<b><i>GSM 900/ DCS1800</i></b>	<b><i>D-AMPS EE.UU.</i></b>	<b><i>IS-95 EE.UU.</i></b>	<b><i>PDC Japón 0,9/1,5 GHz</i></b>
<b><i>Banda downlink (MHz)</i></b>	935-960/ 1805-1880	864-894	869-894	810-826/ 1477-1501
<b><i>Banda uplink (MHz)</i></b>	890-915/ 1710-1785	824-849	824-849	940-956/ 1429-1453
<b><i>Separación dúplex (MHz)</i></b>	45/95	45	45	130/48
<b><i>Separación radiocanales (MHz)</i></b>	200	30	1250	25 entrelaz
<b><i>Nº radiocanales dúplex</i></b>	124/374	832	20	640/960
<b><i>Radio mín/máx celda (km)</i></b>	0.5/35	0.5/20	sin espec/50	0.5/20
<b><i>Acceso</i></b>	TDMA	TDMA	CDMA	TDMA
<b><i>Duplexado</i></b>	FDD	FDD	FDD	FDD
<b><i>Capacidad tráfico/portadora RF</i></b>	8/16	3/6	61/122	3/6
<b><i>Modulación</i></b>	GMSK	$\pi/4$ -QPSK	QPSK ensanchado	$\pi/4$ -QPSK desplazado
<b><i>Mínima C/I (dB)</i></b>	9	16	6	13
<b><i>Veloc. tx (kb/s)</i></b>	270.833	48.6	9.6/canal 614.4/portad	42

Tabla 3.9 .Características técnicas de estándares celulares digitales.

## 3.2 Estación Móvil (MS).

La estación móvil suele representar el único elemento del sistema que el usuario llega a ver. Además de las funciones básicas de radio y de proceso necesarias para acceder a la red a través de la interfaz radio, una estación móvil debe ofrecer un interfaz al usuario (tal como micrófono, altavoz, pantalla y teclado), o un interfaz hacia otros equipos terminales (tal como un interfaz hacia un PC o una máquina de fax).

Todo abonado a un servicio de telefonía móvil digital *GSM* precisa dos elementos:

- Un terminal móvil.
- Una tarjeta SIM (módulo de identificación del abonado).

La distinción entre terminal móvil y estación móvil permite que un mismo terminal pueda ser utilizado por distintos usuarios, sin que existan conflictos de a la hora de tarificar las llamadas. Basta con ello que cada uno inserte su tarjeta SIM correspondiente.

### 3.2.1 TERMINAL MÓVIL.

Es el hardware que permite los procesos de comunicación vía radio siguiendo el estándar GSM. Implementa las etapas de potencia, la transmisión y recepción de la señal, modulación, digitalización y muestreo de la voz, etc.

Por sí solo el terminal solo permite realizar llamadas de emergencia. El acceso a los restantes servicios proporcionados por una red GSM requieren la inserción del SIM dentro del terminal.

El teléfono (o terminal) móvil *no* es un elemento “exclusivo” del usuario, es decir, es un objeto que puede comprarse, alquilarse o pedirse prestado. Cuando un cliente se abona a un servicio de telefonía móvil, el teléfono puede o no formar parte del paquete que reciba.



*Figura 3.10. Teléfono móvil*

Los teléfonos móviles los fabrican y comercializan distintas empresas. La potencia de la señal varía de un modelo a otro, y de una marca a otra, y en este sentido hay que tener presente que cuanto mayor es la potencia, mayor es también la distancia a la que pueden funcionar con respecto a la estación de base. Los ingenieros de radiofrecuencia proyectan las áreas de cobertura para los distintos tipos de teléfonos combinando las necesidades de potencia de señal con el diseño de red previsto.

La potencia máxima de los teléfonos móviles depende de la “clase” a la que pertenezcan. Las especificaciones *GSM* definen cinco clases distintas (dos de las cuales ya se han quedado anticuadas):

- Clase 1: para vehículos o portátil 20 vatios (anticuado).
- Clase 2: para vehículos o portátil 8 vatios.
- Clase 3: de bolsillo 5 vatios (anticuado).
- Clase 4: de bolsillo 2 vatios.
- Clase 5: de bolsillo 0,8 vatios.

### **3.2.2 LA TARJETA SIM.**

Un aspecto fundamental de la estación móvil GSM, que la diferencia de las estaciones móviles del resto de sistemas, es el concepto de “módulo de usuario” o SIM (Subscriber Identity Module). La SIM es básicamente una tarjeta inteligente, que sigue los estándares ISO, que contiene toda la información referente al usuario almacenada en la parte de usuario de la interfaz radio. Sus funcionalidades, además de esta capacidad de almacenar información, se refieren también al tema de confidencialidad. El resto de la estación móvil contiene todas las capacidades básicas de transmisión y señalización para acceder a la red. El interfaz entre la SIM y el resto del equipo está totalmente especificado y se denomina interfaz SIM-ME, donde ME significa terminal móvil (Mobile Equipment).

El concepto de un dispositivo extraíble con los datos del usuario tiene en sí mismo grandes consecuencias. En otros sistemas celulares, la personalización de cada estación móvil requería una intervención nada trivial, que sólo se realizaba a través de especialistas técnicos. Esto implicaba que una estación móvil sólo podía venderse a través de distribuidores especializados. Además, si alguna estación móvil fallaba, era difícil dotar al usuario de otra que la remplazase durante el periodo de reparación, y casi imposible permitir que el usuario mantuviese su mismo número de teléfono durante este periodo.

La tarjeta SIM simplifica estos asuntos y también ofrece otras ventajas. Un usuario potencial puede comprar un equipo móvil, pero también lo puede alquilar o pedir prestado por un periodo de tiempo determinado, y cambiarlo cuando desee, sin necesidad de procesos administrativos. Todo lo que necesita es su propia SIM, obtenida a través de un distribuidor o de un proveedor de servicio, independientemente del equipo que desee adquirir. Los últimos pasos de la personalización de la SIM pueden realizarse fácilmente a través de un pequeño ordenador y un sencillo adaptador.

A diferencia del teléfono móvil, la tarjeta *SIM* es un elemento “exclusivo” del usuario y constituye la base del sistema de abono al servicio prestado por el operador de la red. Cuando la tarjeta se introduce en un teléfono móvil cualquiera, éste adquiere el número telefónico asociado a la tarjeta. Es decir, el número pertenece al abonado y no al teléfono, que, como acabamos de señalar, puede ser cualquiera.

La presencia de la tarjeta *SIM* en el teléfono es indispensable para poder acceder a la red móvil, ya se trate de una llamada originada en un teléfono móvil o destinada a él.<sup>1</sup>

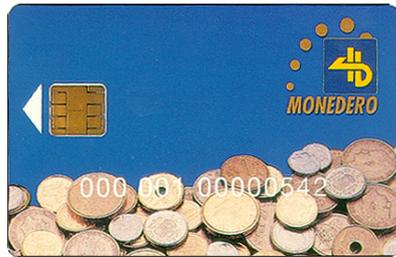


Gráfico 3.11. Tarjeta SIM estándar.

La tarjeta *SIM*, como hemos dicho, es una tarjeta “inteligente”, dotada de un microprocesador y de una memoria *ROM* (memoria sólo de lectura), es un ordenador en miniatura programado con los datos del abonado, datos que no pueden alterarse sin reprogramar totalmente la tarjeta. El microprocesador controla el acceso a la memoria, que es la que contiene la información necesaria para que el sistema identifique, autentifique y localice al abonado móvil.

Las tarjetas *SIM* se comercializan en la actualidad en dos tamaños: el tamaño normal similar al de una tarjeta de crédito y el tamaño pastilla conectable (de aproximadamente dos centímetros de largo por uno y medio de ancho). La memoria de las primeras tarjetas *SIM* era de 3 kB; las más recientes poseen 8 kB, con lo que disponen de más funciones y mejores prestaciones.

La información almacenada en la tarjeta *SIM* permite, además, hacer uso de ciertas funciones muy útiles para el cliente: marcación abreviada, almacenamiento de mensajes cortos para su posterior recuperación, etcétera.

---

<sup>1</sup> Las llamadas de emergencia constituyen la única excepción a esta regla.

### **3.3 Subsistema de estaciones base (BSS).**

Para poder dar cobertura, a cada operadora se le asigna una parte del espectro de frecuencia. La comunicación entre las estaciones base y los terminales móviles se hace a través de unos determinados canales, unos de voz y otros de control.

Para conseguir cobertura en una zona determinada se utiliza lo que llamamos un sistema celular.

La telefonía móvil tiene que conseguir los mismos objetivos de calidad que la telefonía fija. Para conseguir esto, los sistemas móviles tienen que tener unas funcionalidades que les permitan corregir la variabilidad de los canales de radio, el desplazamiento y el hecho de que el medio de comunicación sea compartido por varios usuarios.

En términos generales, el Subsistema de radio, Subsistema de Estaciones de Base o BSS agrupa a los equipos que se encargan de la gestión de los aspectos radio y celulares del GSM. El BSS está en contacto directo con las estaciones móviles a través del interfaz radio. Como tal, incluye los elementos a cargo de la transmisión y recepción del trayecto radio y la gestión del mismo. Por otro lado, el BSS está en contacto con las centrales de conmutación del NSS. La función del BSS se puede resumir como la conexión entre estaciones móviles y el NSS y, por tanto, la conexión entre un usuario móvil con otro usuario de telecomunicaciones.

El BSS incluye dos tipos de elementos: la Estación de Base (BTS, Base Transceiver Station), en contacto con las estaciones móviles a través del interfaz radio, y el Controlador de Estaciones de Base (BSC, Base Station Controller), este último en contacto con las centrales de conmutación del NSS. La división funcional es, básicamente, entre un equipo de transmisión, la BTS, y un equipo de gestión, la BSC.

Una BTS contiene dispositivos de transmisión y recepción, incluyendo las antenas, y también el procesado de señal necesario para el interfaz de radio. La BTS pueden considerarse como módems de radio complejos, teniendo pocas funciones adicionales.

El interfaz radio del GSM utiliza una combinación de Dúplex por División en Frecuencia (FDD), Acceso Múltiple por División en el Tiempo (TDMA) con posibilidad de diversas portadoras, con una pizca de Salto en Frecuencia (FH, Frequency Hopping).

El concepto básico es que la unidad de transmisión es una serie de bits modulados y se denomina ráfaga. Las ráfagas se envían en ventanas de frecuencia y tiempo que denominamos ranuras o slots. Las frecuencias centrales de los slots se sitúan cada 200 kHz en la banda de frecuencias del sistema y ocurren durante 0.577ms, o más exactamente  $15/26$  ms.

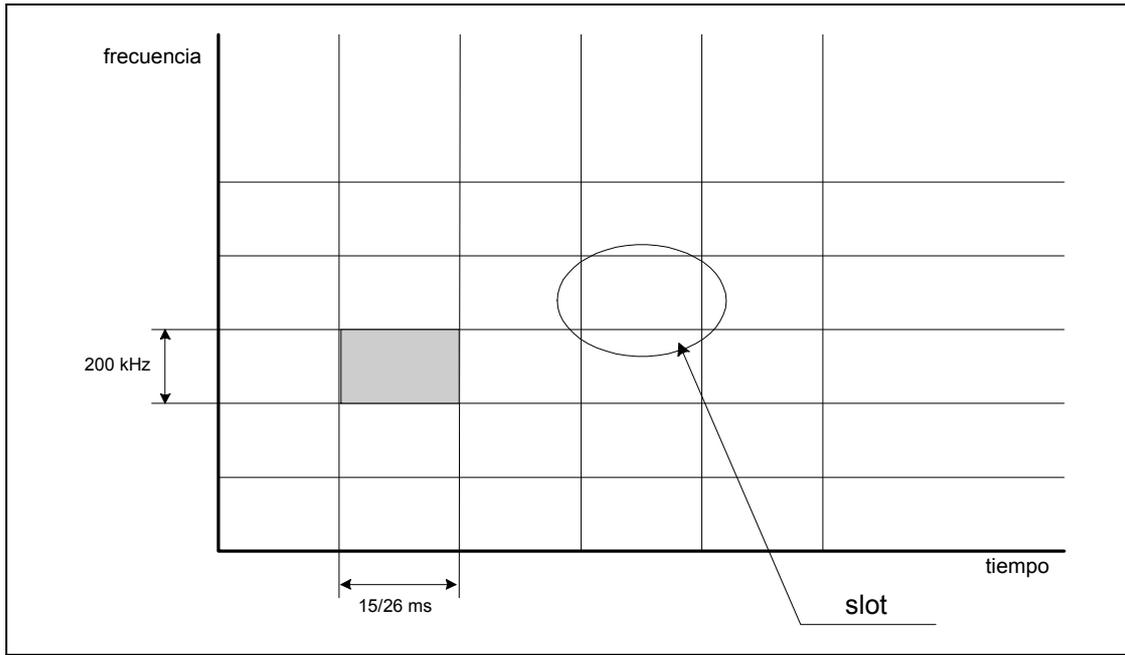


Figura 3.12. Distribución frecuencia-tiempo de los canales.

Con esta unidad básica, asumiendo una sola ventana de frecuencias, el aspecto TDMA del sistema de transmisión se agrupa en tramas, multitramas e hipertramas, organizándose así el envío de información por el aire. La distribución de estos slots es como muestra la figura siguiente.

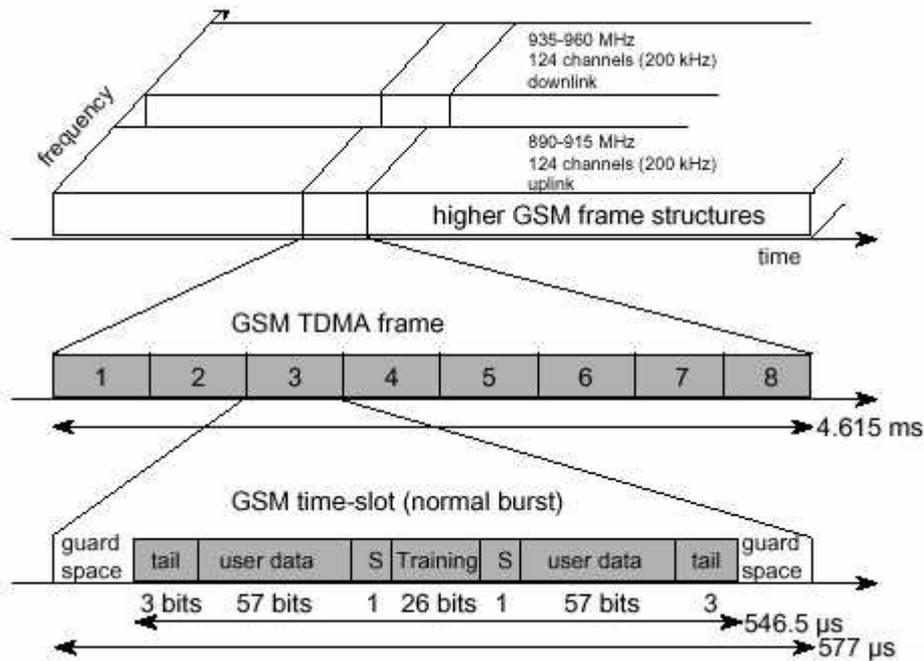


Figura 3.13. Tramas en el Interfaz Radio.

Dentro de esta organización, se agrupan los distintos canales lógicos soportados en el sistema GSM para el transporte de información entre usuarios, o sencillamente información de control del propio sistema.

### **3.3.1 CONTROLADOR DE ESTACIONES DE BASE ,BSC (BASE STATION CONTROLLER).**

La principal función del controlador de estaciones de base es el procesamiento de llamadas. Al desplazarse, el abonado suele pasar de una célula a otra sin advertirlo; el proceso por el cual la llamada se mantiene sin interrupciones perceptibles, cuando se produce ese paso de una célula a otra es lo que se denomina traspaso o handover. El controlador es el que gestiona los interfaces de radio, a través del control remoto de la estación de base y del teléfono móvil. Esta tarea consiste básicamente en asignar y liberar canales de radio y realizar los trasposos de una célula a otra.

En GSM, durante una llamada, la estación móvil está continuamente “escuchando” a una serie de estaciones base, así como informando a la BSC de la calidad de la señal con que está trabajando. Esto permite a la BSC tomar la decisión de cuando iniciar un handover y a qué célula. La BSC controla a su vez la potencia de trabajo de la estación móvil, para minimizar la interferencia producida a otros usuarios y aumentar la duración de la batería.

Como hemos señalado anteriormente, el controlador está conectado a varias estaciones de base, y es también misión suya transmitir el tráfico de voz y datos al centro de conmutación, que forma parte del subsistema de conmutación de la red. Así pues, el controlador de estaciones de base es un aparato de reducidas dimensiones con gran capacidad informática. Puede gestionar cientos de estaciones de base (aunque por lo general suele controlar menos), en función de la capacidad total de tráfico de la red de que se trate. Las redes suelen tener por lo tanto menos controladores que estaciones de base. Cada BSC gestiona numerosas BTS y está siempre conectado a una central de conmutación. Las BSC pueden estar físicamente en el mismo emplazamiento de la MSC, BSC local, o en otro separado, BSC remota.

#### ***3.3.1.1 La Base de datos.***

La BBDD de una BSC almacena todos los parámetros radio de las estaciones (identificación de cada BTS, canales, frecuencias, configuración, etc.), así como información relativa a las estaciones vecinas, que facilita la toma de decisiones sobre el traspaso o handover.

#### ***3.3.1.2 El transcodificador, TRAU.***

La función primaria de una TRAU es la adaptación de la velocidad del enlace radio al estándar utilizado por la red. Forma parte de la BSC. Algunos fabricantes la sitúan físicamente en el mismo emplazamiento de la BSC, otros, sin embargo, la emplazan en la misma sala de la MSC, en este segundo caso se consigue un ahorro en líneas de transmisión, ya que la comunicación entre la BSC y la TRAU se realiza a 16 kbit/s, mientras que el interfaz con la MSC se realiza a 64 Kbit/s.

Ésta es precisamente su labor. Recoge las tramas de la BSC, con canales a 16 kbit/s, y le entrega a la MSC una trama con canales a 64 Kbit/s.

### **3.3.2 ESTACIÓN BASE, BTS (BASE TRANSCEIVER STATION).**

Una estación de base es un aparato programable ubicado en una célula.<sup>2</sup> Está dotada de todo el equipo técnico, tanto físico (transceptores y antenas) como lógico (procesadores de datos), necesario para establecer las conexiones de radio (a través del aire) con los teléfonos móviles que se encuentren dentro de su célula. Las estaciones base pueden considerarse como complejos dispositivos de modulación y demodulación de ondas de radio. La red de móviles puede contar con cientos o miles de BTS. Por tanto, la función principal de una BTS es proporcionar un número de canales radio a la zona a la que da servicio.

Una BTS con un transceptor y con codificación “full rate” proporciona 8 canales en el enlace radio, uno de los cuales se utiliza para señalización. Con una codificación “half rate” el número de canales disponibles se duplica ( $16=15+1$ ).

Cada estación puede estar compuesta por una o varias celdas o sectores, típicamente hasta 3. Además cada celda puede tener una o más portadoras (frecuencias), cada una de las cuales podrá llevar hasta 8 conversaciones simultáneas (time slots o ranuras temporales), a cada portadora se le denomina TRX (transceptor). Un requisito necesario es que el BCCH salga siempre por el primer TRX, por lo que este sólo puede transmitir 7 canales de voz.

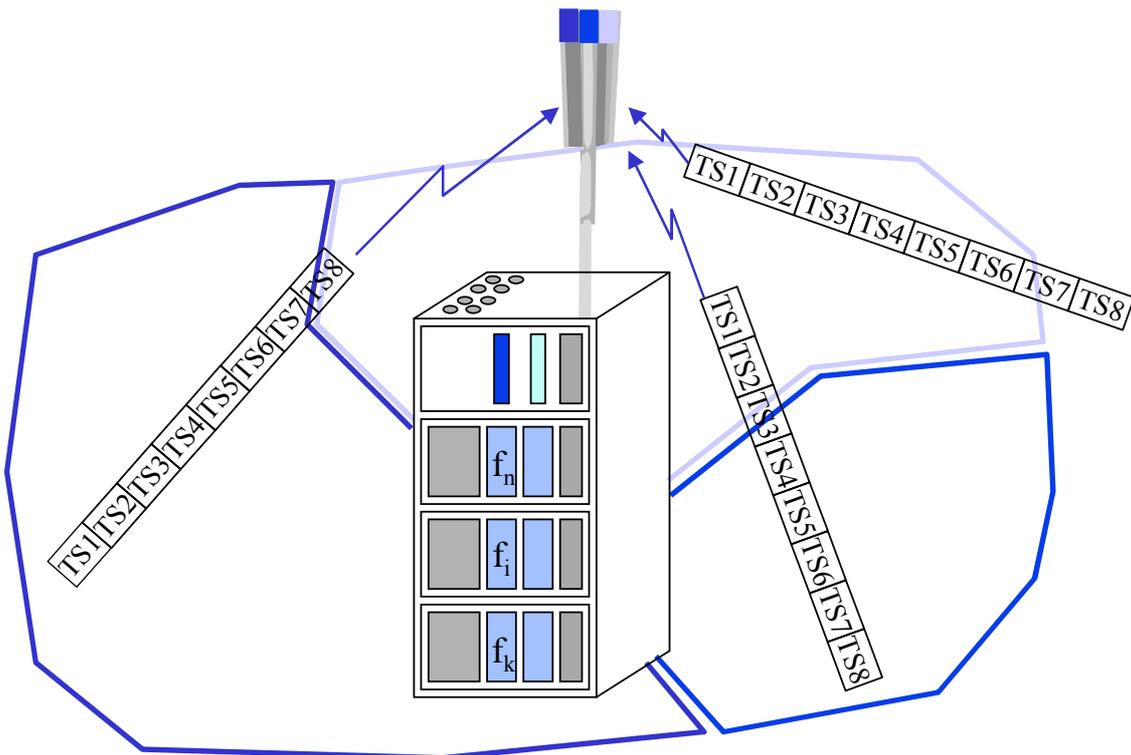


Figura 3.14 . BTS con 3 sectores y 3 TRX.

<sup>2</sup> Según las especificaciones GSM, la *célula* es la unidad geográfica mínima de una red de móviles. Es el área a la que proporciona cobertura radioeléctrica determinada estación de base. Si un área de trabajo concreta se divide en células sectorizadas, se pueden instalar varias BTS, cada una de ellas equipada con una antena direccional, en un mismo emplazamiento

### **3.3.2.1 Macros.**

Las estaciones convencionales son las llamadas macros. Pueden estar instaladas en el interior de una caseta o habitación, en este caso los equipos son de interior o indoor, junto con las baterías, alimentación, repartidores, climatización, etc., o en el exterior, equipos outdoor, necesitan alojarse en un bastidor estanco, que incluye, normalmente los equipos accesorios mínimos, como climatización o ventilación forzada, pequeñas baterías, etc..

### **3.3.2.2 Micros.**

Son estaciones de reducido tamaño, pensadas para completar la red de macros. Sus dos funciones principales son:

- Dar cobertura a bajos e interiores, a las que no llega señal de las macros, calles estrechas, locales comerciales, aeropuertos, etc.
- Aumentar la capacidad del sistema en zonas de alta densidad de usuarios, p.ej, en zonas comerciales, de oficinas, etc.

Estas estaciones poseen minúsculas antenas del tamaño de un cajetín. Son idénticas a las macros a efectos de handover con sus estaciones vecinas, generalmente harán handover con la macro más cercana. Normalmente tienen menor capacidad y radio de cobertura que una macro. Las macros crean, en estos casos, una cobertura paraguas.

### **3.3.2.3 Sistema radiante.**

El sistema radiante está formado por las antenas encargadas de transmitir y recibir la señal GSM, en radiofrecuencia, entre la BTS y la estación móvil.

La antena puede ser omnidireccional o sectorial (se divide la célula en tres sectores, con diferentes juegos de frecuencias), aunque lo normal es una configuración sectorial. Las antenas están separadas de la estación de base, generalmente a una distancia de varias decenas de metros, y suelen colocarse en un mástil, en la parte superior de algún tipo de construcción, o en una torre.

El sistema radiante se conecta a la BTS mediante una cable, que depende de la longitud de la tirada. Por este cable viajan las señales de transmisión y recepción, cada una en una banda de frecuencias. En GSM se utiliza una frecuencia intermedia, menor que la radiada (radiofrecuencia), por lo que en el sistema radiante se deberá realizar una conversión entre FI y RF. Con ello se consiguen menores pérdidas e interferencias.

Normalmente, por cada sector hay una antena en transmisión y una o varias en recepción. Si se utiliza diversidad en espacio, hay más de una antena en transmisión, normalmente dos, separadas entre sí. Sin embargo, si la diversidad es en polarización, sólo tendremos una única antena, capaz de captar ambas polarizaciones, en estos casos, las antenas de recepción y transmisión se suele encapsular en un único radomo.

	<i>Kathrein 739 494</i>	<i>Kathrein 739 495</i>	<i>Kathrein 739 707</i>	<i>APX 189015</i>	<i>APX 189014</i>
<b>Ganancia</b>	18 dBi	18 dBi	16.5 dBi	16.05(+ - 0.5)	15.05(+ - 0.5)
<b>BW Horizontal</b>	65°	65°	90°	65°	85°
<b>BW Vertical</b>	6.5°	7°	7°	7.5°	7.5°
<b>Downtilt elec.</b>	0°	2°	2°	2°	2°
<b>Height/width/depth</b>	1302/155/49 mm	1302/155/49 mm	1302/155/69 mm	1310/198/50 mm	1310/198/50 mm
<b>Peso</b>	6 kg	6 kg	6 kg	5.5 kg	5.5 kg
<b>Rango de frecuencias</b>	1710-1880 MHz	1710-1880 MHz	1710-1880 MHz	1710-1880 MHz	1710-1880 MHz
<b>VSWR</b>	< 1.5	< 1.4	< 1.4	<1.3:1	<1.3:1
<b>Impedancia</b>	50 ohm	50 ohm	50 ohm	50 ohm	50 ohm
<b>Polarización</b>	+ 45° \ - 45°	+ 45° \ - 45°	+ 45° \ - 45°	+ 45° \ - 45°	+ 45° \ - 45°
<b>Front to back ratio</b>	> 30 dB	> 30 dB	> 25 dB	>25 dB	>20 dB
<b>Aislamiento</b>	> 30 dB	> 30 dB	> 30 dB	< -32 dB (typ -35)	< -32 dB (typ -35)
<b>Max potencia por entrada</b>	200 W (a 50°)	200 W (a 50°)	200 W (a 50°)		
<b>Max. Velocidad del viento</b>	200 Km/h	200 Km/h	200 Km/h		

Tabla 3.15. Características de algunas antenas sectoriales con diversidad en polarización.

### **3.3.3 PLANIFICACIÓN CELULAR.**

#### **3.3.3.1 Tipos de celda.**

Según la forma de la forma del diagrama de radiación de la estación, se pueden dividir en:

- **Omnidireccionales.** La celda radia por igual en todas las direcciones del espacio. El transmisor se sitúa en el centro del área de cobertura de la misma. Hay una única antena en transmisión omnidireccional, típicamente un dipolo.

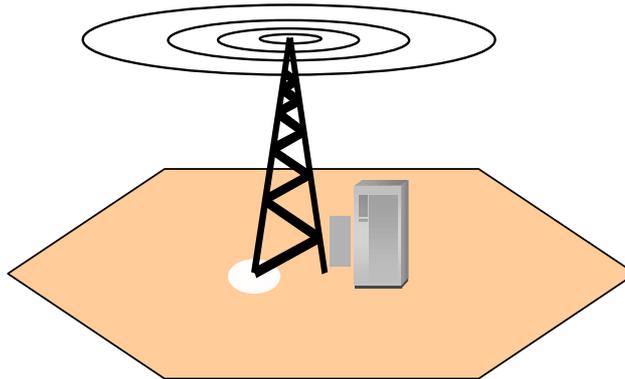


Figura 3.16. Diagrama de radiación de una celda omnidireccional.

- **Bidireccionales.** La celda radia por igual según dos lóbulos de radiación. Normalmente hay dos antenas de transmisión en dos direcciones del espacio distintas, cada una define un sector. El transmisor se sitúa en la intersección de los dos lóbulos. Normalmente cada lóbulo tiene un ancho de haz de 30, 45 o 60°.

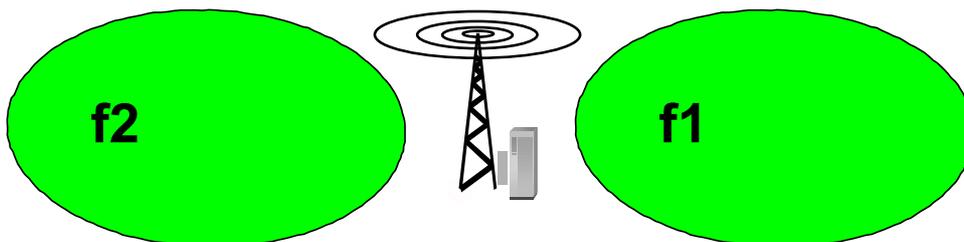


Figura 3.17. Diagrama de radiación de una celda bidireccional.

- **Trisectoriales.** Igual que las bidireccionales pero con tres lóbulos.

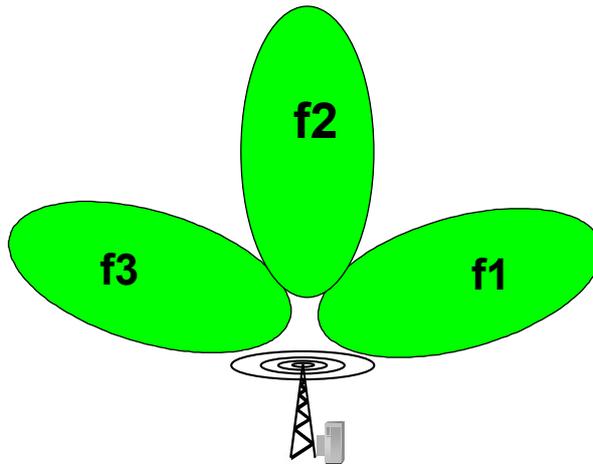


Figura 3.18. Diagrama de radiación de una celda trisectorial.

- **Mixtas.** Es una mezcla de una omnidireccional y una bidireccional.

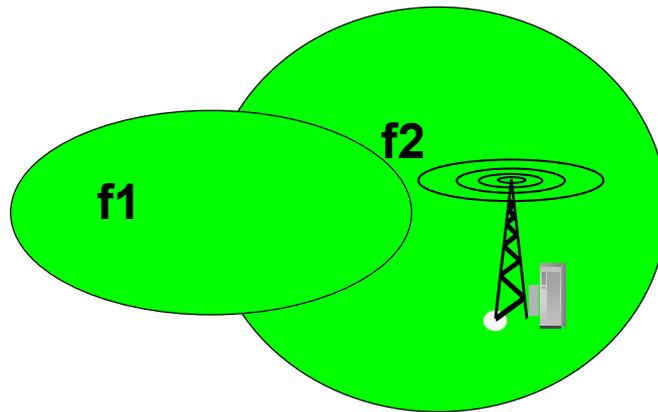


Figura 3.19. Diagrama de radiación de una celda mixta.

Algunas configuraciones de celdas de características especiales son:

- **Celda extendida.** En GSM, el límite máximo del radio de una celda lo marca el retardo. La trama que se transmite sufre un retardo en el tiempo, si el retardo es lo suficiente grande como para que un time slot se confunda con el siguiente, entonces una conversación se metería en otra. La distancia máxima de adelanto es de 63 bits, entonces,

$$S = (c * t_{\text{compensables}}) / 2 = 3E8 * (63 * 3,69 \text{ useg}) / 2 = 34,87 \text{ Km.}$$

Si dejamos vacío el siguiente time slot, aumentamos la distancia, aunque a costa de perder la mitad de capacidad. Tendríamos time slot dobles, consiguiendo celdas extendidas. Una utilidad es la cobertura marítima desde la costa (no necesitamos capacidad).

$$S = 3E8 * ((63+156) * 3,69 \text{ useg}) / 2 = 120 \text{ Km.}$$

- **Concéntricas.** Dos celdas superpuestas, una de ellas con mayor radio que la otra, o lo que es lo mismo, la de mayor radio sale con mayor potencia. El BCCH se radia con la de mayor potencia (ha de ser recibida por cualquier estación móvil a la que se da cobertura). Un ejemplo de aplicación sería la cobertura de un pueblo pequeño. El casco urbano necesita mayor capacidad, más TRX, al haber mayor densidad de usuarios. Al mismo tiempo cubrimos el campo cercano con un único TRX, por ejemplo.

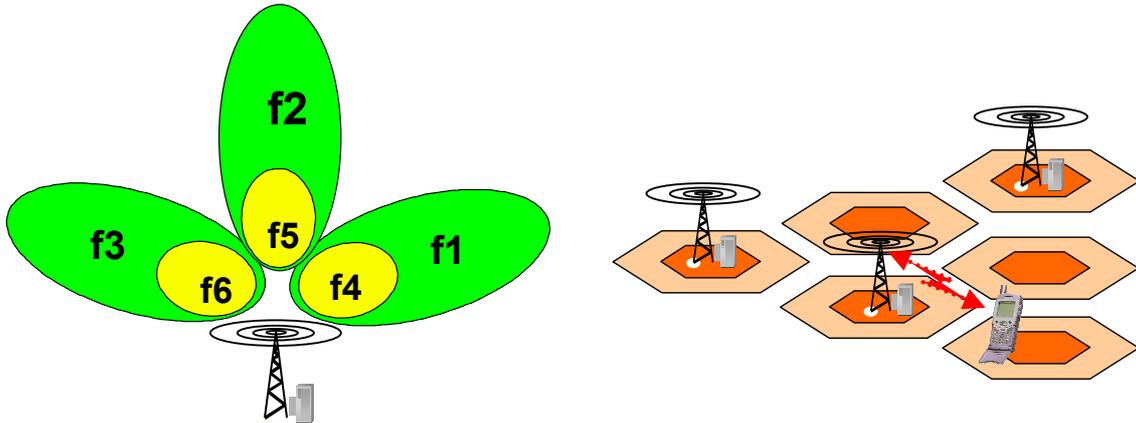


Figura 3.20. Diagrama de celdas concéntricas.

- **Jerarquías.** Se definen niveles, prioridades, de tal forma que se le obliga a la estación móvil a ir a los niveles de mayor prioridad siempre que no haya restricciones.
- **Celdas paraguas.** Es un caso especial del anterior. Normalmente se utiliza cuando se implementa una red de micros, por debajo de la de macros. Siempre que un móvil puede, se conecta a la micro correspondiente. La celda paraguas queda para las zonas sin cobertura de las micro o cuando éstas están saturadas.

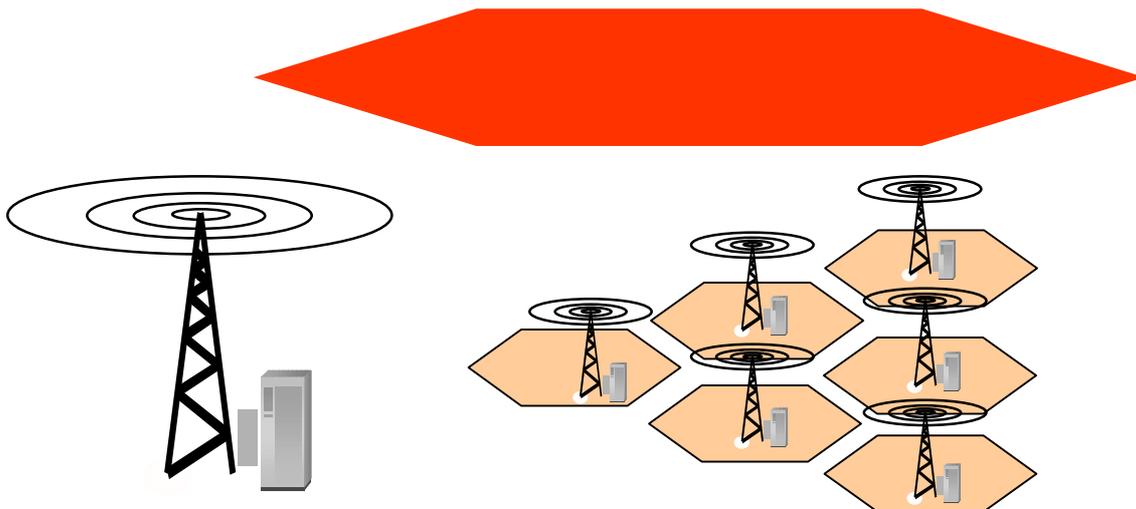


Figura 3.21. Diagrama de celdas paraguas.

### 3.3.3.2 Control de potencia.

En los sistemas celulares de radio, los niveles de potencia transmitidos por cada unidad de los usuarios, están bajo un control constante por las estaciones base servidoras. Esto se hace para asegurar que cada móvil transmite la potencia más baja necesaria. El control de potencia no sólo hace que dure más la batería, sino que también reduce mucho la S/I de canal inverso. La BSC le indica a la estación móvil si ha de reducir o aumentar la potencia transmitida, según unos escalones definidos.

### 3.3.3.3 Hopping o salto en frecuencia.

Los time slots o ranuras temporales van cambiando de frecuencia aleatoriamente. Con ello se mejora la calidad de red al limitar el tiempo en que una interferencia afecta a un time slot.

Hay dos modalidades:

- **Banda base.** Los TRX de una celda no varían su frecuencia. Los time slots son transmitidos cada vez por un TRX (sin cambiar de posición dentro de la trama). Podemos usar, por lo tanto, tantas frecuencias como TRX tengamos. Si un TRX funciona mal, solo nos afectará un 33% del tiempo.
- **Sintetizado.** Cada TRX va variando su frecuencia portadora con el tiempo, normalmente dentro de un conjunto de frecuencias llamado grupo de salto, hasta un máximo de 32. El TRX0 no puede cambiar de frecuencia, ya que transmite el BCCH. Para disminuir interferencias entre celdas, se suele emplear junto con celdas concéntricas, en este caso la celda exterior transmite el TRX0. Mejora en casos de desvanecimiento e interferencias selectivas en frecuencia.

### 3.3.3.4 Direct retry o direccionamiento directo.

Cuando una celda está saturada, la BTS redirecciona la llamada a otra celda. Para ello es necesario que hayamos definido las vecinas en la BSC y MSC.

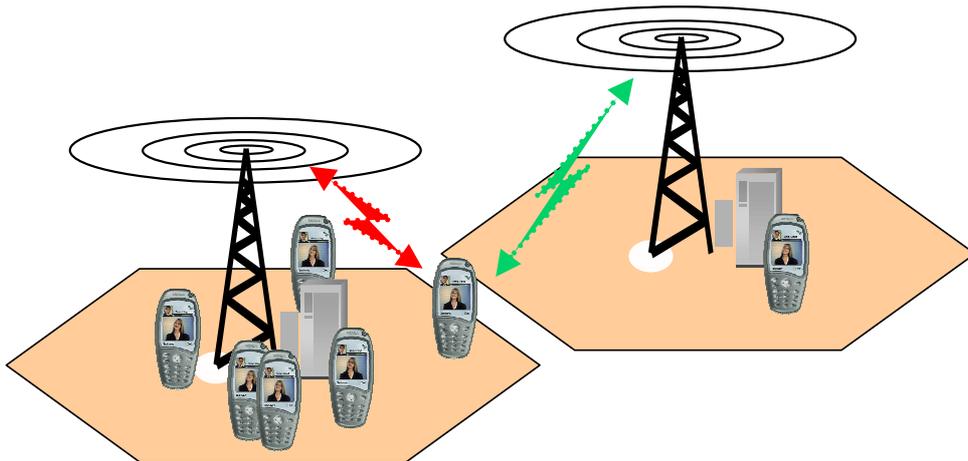


Figura 3.22. Direccionamiento directo.

### 3.3.3.5 Operación multibanda.

Es un mecanismo que permite un handover o traspaso entre GSM900 y DCS1800 de un mismo operador. Si una estación móvil está en una celda de GSM y encuentra una con mejor nivel en DCS salta a esta celda. Lo mismo en sentido contrario.

### 3.3.3.6 Detección de celda dormida.

Es un mecanismo que permite la detección de celdas por las que no transmite nadie. La BSC hace una comprobación cada 15 minutos, hay que activar esta facilidad.

### 3.3.3.7 División de celdas ("cell-splitting").

El "splitting" es el proceso de subdividir una celda congestionada en celdas más pequeñas, cada una con su propia estación base y la correspondiente reducción en la altura de la antena y de la potencia de transmisión. El "splitting" incrementa la capacidad de un sistema celular dado que incrementa el número de veces que se reutilizan los canales. Definiendo nuevas celdas que tengan un radio más pequeño que las celdas originales, e instalando estas pequeñas celdas entre las celdas existentes, se incrementa la capacidad debido al incremento de canales por unidad de área.

Imaginemos que cada celda se reduce de forma que el radio de cada celda se hace la mitad. Para cubrir el área entera de servicio con las celdas más pequeñas, se necesitarían aproximadamente cuatro veces más celdas que antes. Esto se puede observar si suponemos una celda circular de radio  $R$ . El área cubierta por ese círculo es cuatro veces mayor que el área cubierta por un círculo de radio  $R/2$ . El incremento del número de celdas incrementará el número de clusters en la región de cobertura, que a su vez incrementará el número de canales, y por lo tanto la capacidad en el área de cobertura. El "cell-splitting" permite al sistema crecer sustituyendo las celdas grandes por otras más pequeñas, sin modificar el esquema de colocación de canales para mantener un factor de reutilización co-canal mínimo entre celdas co-canales.

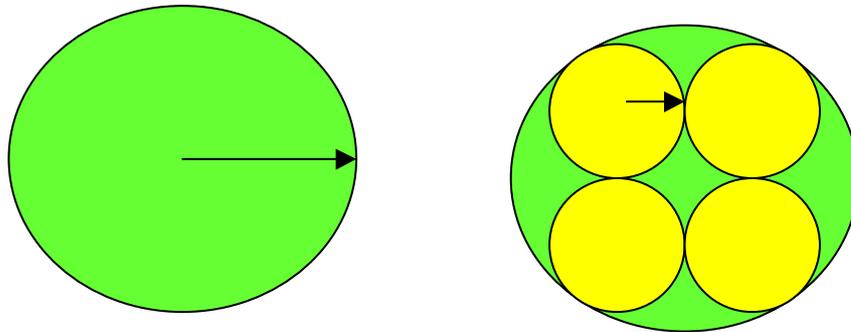


Figura 3.23. División de una celda de radio  $R$  en cuatro de radio  $R/2$ .

### **3.3.4 LA RED DE TRANSPORTE. CONFIGURACIONES, DIVERSIDAD, TOPOLOGÍAS.**

Las red de BTS, distribuida por todo el territorio, ha de conectarse a su BSC correspondiente. Las BSC se deben de unir a su MSC, todo ello de forma transparente (sin pérdida de calidad ni variación en la señal). Para ello se utilizan, en muchos casos, radioenlaces en la banda de microondas. Otras veces la red de transporte utiliza la RTB, fibra óptica, o combinaciones de todos los enlaces mencionados.

Al trabajar en la banda de microondas (altas frecuencias), estos radioenlaces precisan visibilidad directa entre la antena emisora y receptora, es decir, que no haya ningún obstáculo en la línea recta que une las dos antenas. Los radioenlaces actuales pueden cubrir distintas distancias, según potencia emitida (a mayor potencia, mayor diámetro de la parábola), y climatología (la lluvia atenúa la señal). A menudo, es necesario varios vanos (espacio entre antenas) para llegar al destino, es decir, se necesitan varias antenas receptoras y emisoras (normalmente por problemas de orografía o por la gran distancia a cubrir).

Un radioenlace punto a punto equivale a un cable que une ambos extremos.

Para ello, conectaremos los distintos elementos de la red de acceso mediante radioenlaces punto a punto en la banda de microondas (15, 26 y 34 GHz). Estos radioenlaces constan de 2 antenas parabólicas (radomo) enfrentadas y alineadas, entregan a la salida, la señal de la entrada, y para su instalación requieren visibilidad directa entre las dos antenas (que no haya obstáculos entre ellas). El modelo a instalar depende de la distancia a cubrir. Un radioenlace se subdivide en dos partes:

- **ODU (outdoor unit)**, que está formada básicamente por la antena y la etapa de radiofrecuencia y se suele instalar en un mástil o torre.
- **IDU (indoor unit)** situada en interior, que es el equipo que modula y demodula la señal (microondas) y controla la ganancia.

Para evitar desfallecimientos (cortes y microcortes) se suele utilizar redundancia en las antenas, (se duplica la ODU), entonces se le denomina sistema 1+1 (uno activo y el segundo en redundancia), en caso de fallo de uno, la IDU conmuta de una ODU a la otra. Un sistema se denomina n+m, cuando dispone de n transmisores activos, y m en reserva.

Según la cantidad de señal a emitir se necesitan radioenlaces de mayor a menor capacidad, normalmente múltiplos enteros de 2 Mbits/seg. Así un radionlace (n x 2) tendría una capacidad de n x 2 Mbits/seg.

Los radioenlaces se sitúan lo más cerca de la base de la torre posible, para así evitar variaciones en la posición, por efecto del viento. Hay que tener en cuenta que se podrían desalinear.

A continuación se representa un gráfico típico con 2 vanos.

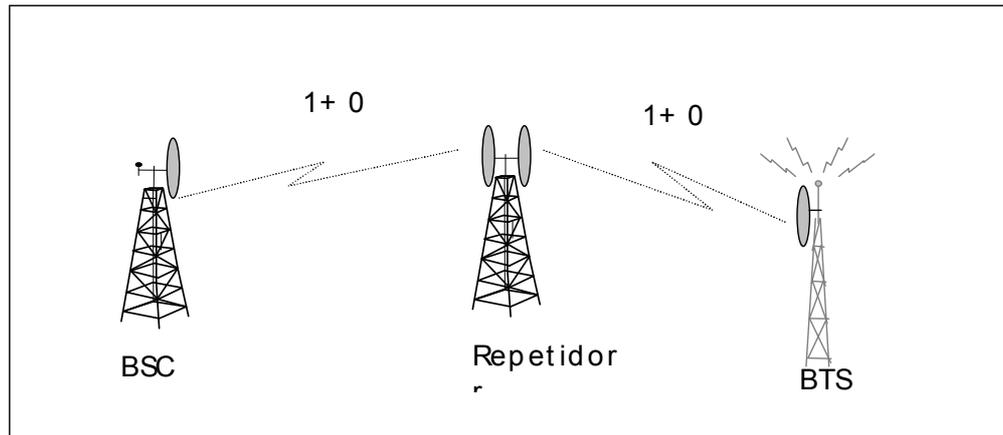


Figura 3.24. Representación de un radioenlace con 2 vanos.

### 3.3.4.1 Consideraciones digitales.

Se denomina radioenlace terrenal de servicio fijo, al sistema de comunicaciones entre puntos fijos, situados en la superficie terrestre, por medio de ondas electromagnéticas. Si el tipo de señal que transporta es digital, entonces se llaman radioenlaces digitales.

Normalmente, los radioenlaces se explotan entre 800 MHz y 50 GHz, dependiendo de su capacidad.

Aunque existen radioenlaces monocanales, lo normal es que transporten señales multiplexadas, constituyendo importantes arterias de transmisión. Por lo tanto, los radioenlaces guardan cierta similitud con los sistemas de transmisión múltiplex por línea, aunque el portador es radioeléctrico, en vez de metálico u óptico. Ello implica que no sean posibles, en radioenlaces, los sistemas de transmisión en banda base, sino que, necesariamente, deben ser sistemas con modulación de portadora.

La modulación de la portadora es digital, de tipo binario o multinivel: BPSK, PSK cuaternaria, PSK diferencial, PSK desplazada, así como modulaciones multinivel mixtas de amplitud y fase del tipo MQAM (M=16, 64,128).

La señal moduladora es un múltiplex digital de alguna de las jerarquías normalizadas por el UIT-T, esto es la señal básica de 2 Mbit/s, o los múltiplex a 8, 34 ó 140 Mbit/s. Atendiendo a estas capacidades, podemos clasificar los radioenlaces en tres tipos:

- Baja capacidad (menos de 30 canales ó 2 Mbit/s).
- Media capacidad (hasta 240 canales u 8 Mbit/s).
- Alta capacidad (de 300 a 2700 canales y por encima de 34 Mbit/s).

Los radioenlaces de servicio fijo hacen uso de propagación troposférica en condiciones de visibilidad directa. Por esto, un radioenlace puede necesitar estaciones repetidoras para salvar las limitaciones de alcance impuestas por la redondez de la Tierra y los obstáculos geográficos del terreno. Llamaremos “vano” a la sección de enlace radioeléctrico entre un terminal y una estación repetidora, entre dos estaciones repetidoras, o entre terminales si no hay repetidores.

La limitación de los recursos espectrales exige que los radiocanales deban atenerse a planes estrictos de canalización, aun a costa de sacrificar otras características (aumento de distorsión, interferencia entre símbolos,...) cuyo restablecimiento obliga a recurrir a técnicas especiales de tratamiento de señal (codificación, ecualización).

#### ***3.3.4.2 Ventajas de los radioenlaces.***

- Inversión reducida.
- Instalación rápida y sencilla.
- Conservación más económica y de actuación rápida.
- Se superan las irregularidades del terreno.
- La regulación sólo debe aplicarse al equipo, puesto que las características del medio de transmisión son esencialmente constantes en la anchura de banda de trabajo.

#### ***3.3.4.3 Inconvenientes de los radioenlaces.***

- Explotación restringida a tramos con visibilidad directa para los enlaces convencionales.
- Acceso difícil a las estaciones (energía, equipos...).
- La segregación, aunque es posible y se realiza, no es tan flexible como en los sistemas por cable.
- La anchura de banda de un radioenlace digital es muy superior a la de otro analógico de capacidad comparable. Esto es así por la alta redundancia de la señal múltiplex MIC. Tal ancho de banda se está reduciendo actualmente con sistemas de modulación de mayor rendimiento espectral.

#### ***3.3.4.4 Estructura general de un radioenlace.***

Un radioenlace está constituido por estaciones terminales y estaciones repetidoras intermedias con sus equipos transceptores (transmisores-receptores), antenas y elementos de supervisión y control.

En los radioenlaces, además de las estaciones repetidoras típicas donde la señal efectúa un tránsito, suelen existir otras estaciones intermedias denominadas nodales, donde se demodula la señal, bajando a banda base y en ocasiones, procediéndose a la extracción-inserción de canales. Al tramo estación terminal-estación nodal se la denomina sección de conmutación y constituye una entidad de control, protección y supervisión.

Los repetidores pueden ser activos o pasivos: En los primeros se recibe la señal en la frecuencia de llegada, se pasa a una frecuencia intermedia, se amplifica y se transmite en la frecuencia de salida, sin haber sido demodulada la señal. El segundo tipo de repetidores son simples reflectores que cambian la dirección del haz radioeléctrico.

Los radioenlaces son sistemas de comunicaciones en serie, por lo que cualquier interrupción causada por avería o desvanecimiento en un vano corta todo el radioenlace. Por lo tanto es muy conveniente la utilización de redundancia de equipos para mantener la continuidad frente a eventuales averías y el uso de técnicas de diversidad y el establecimiento de sistemas de **supervisión y control**.

**3.3.4.5 Topologías de la red de transporte.**

Existen distintas topologías en la red de transporte, que pasamos a describir:

- **Anillo o loop.** Las estaciones están unidas con la anterior y la posterior, cerrándose el círculo entre la primera y la última. La información de una estación se puede enviar en las dos direcciones. Hay por lo tanto redundancia de caminos.

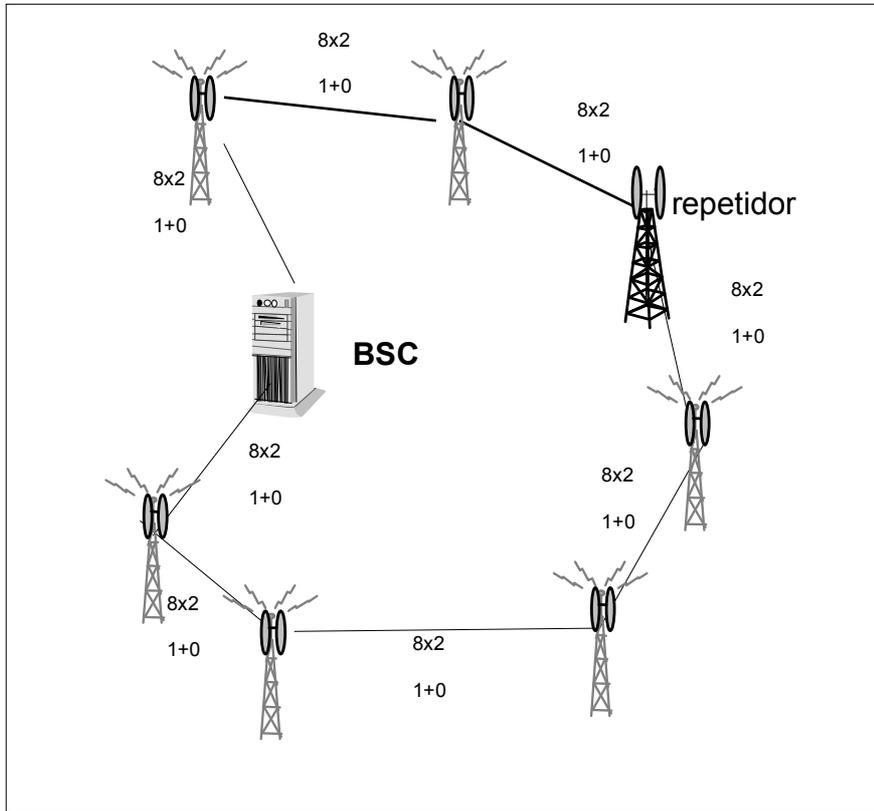


Figura 3.25. Ejemplo de un anillo.

- **Cadena o multidrop.** La primera y la última estación no están unidas, con lo que la información sólo puede viajar por un camino físico.

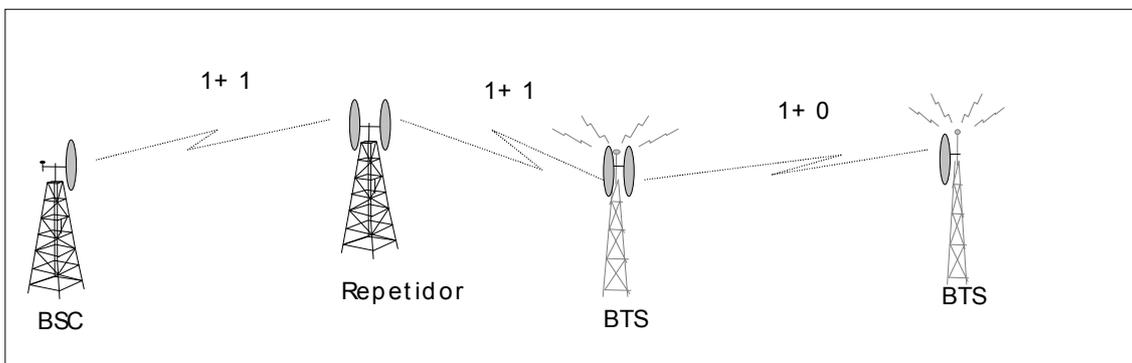


Figura 3.26. Ejemplo de una cadena.

- **Estrella o star.** De una estación cuelgan varias.

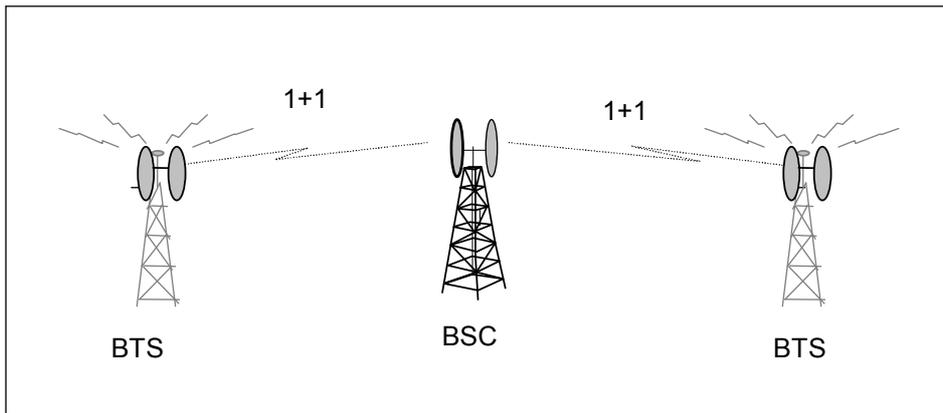


Figura 3.27. Ejemplo de una estrella.

- **Spur.** Es una mezcla de anillo y estrella.

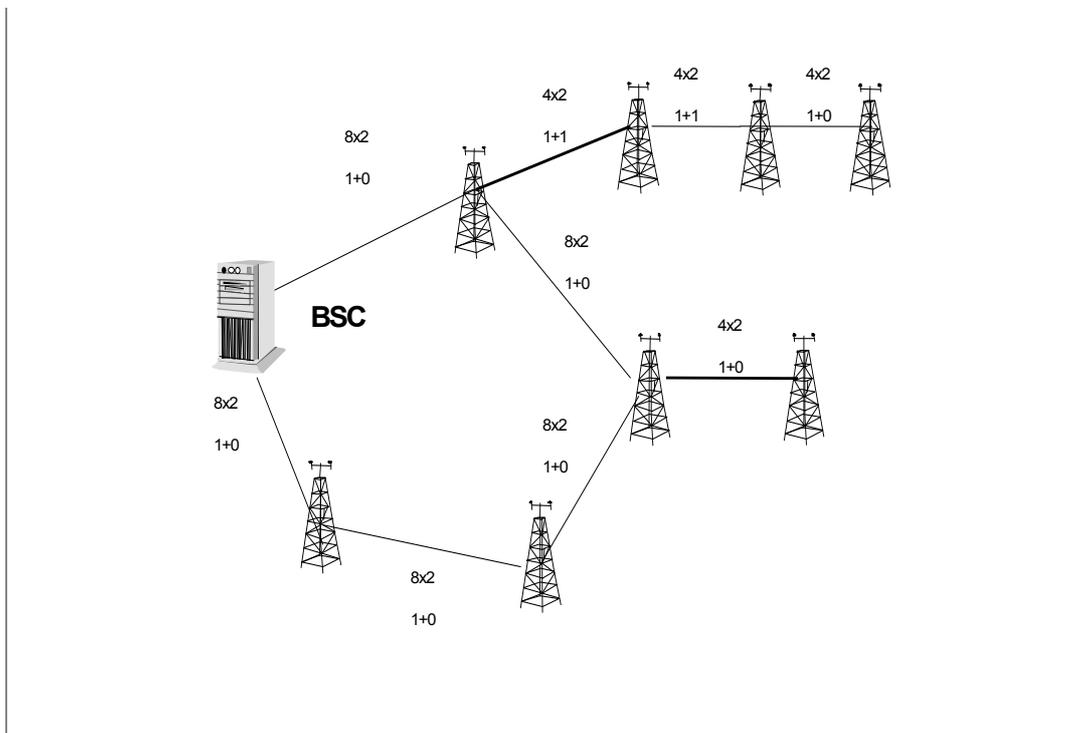


Figura 3.28. Ejemplo de un spur.

### **3.3.5 INTERFERENCIAS Y CAPACIDAD DEL SISTEMA**

La interferencia es el principal factor que limita el desarrollo de los sistemas celulares. Las fuentes de interferencias incluyen a otras estaciones móviles dentro de la misma celda, o cualquier sistema no celular que de forma inadvertida introduce energía dentro de la banda de frecuencia del sistema celular. Las interferencias en los canales de voz causan el "cross-talk", consistente en que el abonado escucha interferencias de fondo debidas a una transmisión no deseada. Sobre los canales de control, las interferencias conducen a llamadas perdidas o bloqueadas debido a errores en la señalización digital. Las interferencias son más fuertes en las áreas urbanas, debido al mayor ruido de radio frecuencia y al gran número de estaciones base y móviles. Las interferencias son las responsables de formar un cuello de botella en la capacidad y de la mayoría de las llamadas entrecortadas. Los dos tipos principales de interferencias generadas por el sistema son las interferencias co-canal y las interferencias entre canales adyacentes. Aunque las señales de interferencia se generan frecuentemente dentro del sistema celular, son difíciles de controlar en la práctica (debido a los efectos de propagación aleatoria). Pero las interferencias más difíciles de controlar son las debidas a otros usuarios de fuera de la banda (de otros sistemas celulares, por ejemplo), que llegan sin avisar debido a los productos de intermodulación intermitentes o a sobrecargas del terminal de otro abonado. En la práctica, los transmisores de portadoras de sistemas celulares de la competencia, son frecuentemente una fuente significativa de interferencias de fuera de banda, dado que la competencia frecuentemente coloca sus estaciones base cerca, para proporcionar una cobertura comparable a sus abonados.

#### ***3.3.5.1 Interferencia co-canal y Capacidad del Sistema***

La reutilización de frecuencias implica, que en un área de cobertura dada, haya varias celdas que usen el mismo conjunto de frecuencias. Estas celdas son llamadas celdas co-canales, y la interferencia entre las señales de estas celdas se le llama interferencia co-canal. Al contrario que el ruido térmico, que se puede superar incrementando la relación señal ruido ("Signal to Noise Ratio" o SNR), la interferencia co-canal no se puede combatir simplemente incrementando la potencia de portadora de un transmisor. Esto es debido a que un incremento en la potencia de portadora de transmisión de una celda, incrementa la interferencia hacia las celdas co-canales vecinas. Para reducir la interferencia co-canal, las celdas co-canales deben estar físicamente separadas por una distancia mínima, que proporcione el suficiente aislamiento por pérdidas en la propagación.

En un sistema celular, cuando el tamaño de cada celda es aproximadamente el mismo, la interferencia co-canal es prácticamente independiente de la potencia de transmisión, y se convierte en una función del radio de la celda ( $R$ ), y de la distancia al centro de la celda co-canal más próxima ( $D$ ). Incrementando la relación  $D/R$ , se incrementa la separación entre celdas co-canales relativa a la distancia de cobertura. El parámetro  $Q$ , llamado factor de reutilización co-canal, está relacionado con el tamaño del cluster  $N$ .

Un valor pequeño de  $Q$  proporciona una mayor capacidad dado que el tamaño del cluster  $N$  es pequeño, mientras que un valor de  $Q$  grande mejora la calidad de la transmisión, debido a que es menor la interferencia co-canal. Se debe llegar a un compromiso entre estos dos objetivos a la hora del diseño.

### ***3.3.5.2 Interferencia entre canales adyacentes***

Entran en este apartado, las interferencias procedentes de señales que son adyacentes en frecuencia a la señal deseada. Estas interferencias están producidas por la imperfección de los filtros en los receptores, que permiten a las frecuencias cercanas colarse dentro de la banda pasante. El problema puede ser particularmente serio, si un usuario de un canal adyacente está transmitiendo en un rango muy próximo al receptor de un abonado, mientras que el receptor está intentando recibir una estación base sobre el canal deseado. A esto se le suele llamar efecto "nearfar", donde un transmisor cercano (que puede ser o no del mismo tipo que el usado en el sistema celular) captura al receptor del abonado. Otra forma de producir el mismo efecto, es cuando un móvil cercano a una estación base transmite sobre un canal cercano a otro que está usando un móvil débil. La estación base puede tener dificultad para discriminar al usuario móvil deseado del otro debido a la proximidad entre los canales.

Este tipo de interferencias se pueden minimizar filtrando cuidadosamente, y con una correcta asignación de frecuencias. Dado que cada celda maneja sólo un conjunto del total de canales, los canales a asignar en cada celda no deben estar próximos en frecuencias.

### ***3.3.5.3 Control de Potencia para reducir las Interferencias***

En los sistemas celulares de radio, los niveles de potencia transmitida por cada unidad de los usuarios, están bajo un control constante por las estaciones base servidoras. Esto se hace para asegurar que cada móvil transmite la potencia más baja necesaria. El control de potencia no sólo hace que dure más la batería, sino que también reduce mucho la S/I de canal inverso.

### ***3.3.5.4 Salto de frecuencias (FH).***

La transmisión por canales de radio móviles está sujeta a numerosas perturbaciones como desvanecimientos de señal e interferencias.

Los desvanecimientos, debidos a la propagación multitrayecto, tienen una influencia notable sobre la calidad. El desvanecimiento multitrayecto puede tener un carácter selectivo y afectar de distinta manera a señales de diferentes frecuencias.

Por otro lado, el sistema móvil GSM, como todos los sistemas celulares, pertenece al tipo de redes limitadas por interferencia, la cual es consecuencia de la reutilización de las frecuencias. En escenarios de elevada carga de tráfico, la interferencia cocanal es quizás la más importante pero también hay otras, como las interferencias de canales adyacentes, las externas y las debidas a productos de intermodulación.

Las dos perturbaciones que se han comentado actúan de una forma permanente, cuando la frecuencia de operación de un canal permanece constante en el valor asignado al mismo al hacer la llamada. Para contrarrestar la influencia negativa de estas perturbaciones, puede pensarse en la posibilidad de hacer variar la frecuencia a lo largo de la llamada, aprovechando la técnica TDMA, esto es, cambiando de frecuencia de un intervalo a otro a lo largo de las diferentes tramas. Justamente en esto consiste la técnica denominada salto de frecuencias, FH (Frequency Hopping).

## **3.4 Subsistema de Conmutación, NSS (Network Subsystem Switching).**

### **3.4.1 MSC (MOBILE SERVICES SWITCHING CENTER).**

El subsistema de red y conmutación (NSS) incluye las funciones básicas de conmutación del GSM, así como las bases de datos necesarias para los datos de usuario y la gestión de la movilidad. La función principal del NSS es gestionar las comunicaciones entre los usuarios GSM y los usuarios de otras redes de telecomunicación.

Dentro del NSS, la función básica de conmutación se realiza en la MSC (Mobile services Switching Centre), cuya misión principal es coordinar el establecimiento de llamadas desde y hacia usuarios GSM. La MSC tiene interfaces con la BSS por un lado (a través de la cuál está en contacto con los usuarios GSM), y con las redes exteriores por otro. La interfaz con redes externas para comunicarse con usuarios fuera del GSM puede requerir un elemento de adaptación (IWF, Interworking Functions), cuya labor puede ser más o menos importante en función del tipo de información de usuario y de la red con la que se interconecte. Generalmente se utiliza para conectar la red GSM a las redes de datos.

Realiza las funciones de conmutación telefónica del sistema. Controla las llamadas desde y hacia otros sistemas de telefonía y datos, tales como la Red Telefónica Básica (PSTN), la Red Digital de Servicios Integrados (ISDN), Redes Móviles (PLMN), Redes de Datos y, posiblemente, algunas redes privadas.

### **3.4.2 GMSC (GATEWAY MSC).**

Una pasarela (*gateway*) genérica es un nodo que interconecta dos redes. Aplicando este concepto a GSM, entendemos por *Gateway MSC* el nodo interfaz entre cualquier red externa y la red GSM. Cualquier llamada desde una red externa, por ejemplo, la Red Telefónica Básica, hacia una red GSM será conmutada hacia una pasarela. La función de pasarela está incluida normalmente en todas las MSCs.

### **3.4.3 HLR (HOME LOCATION REGISTER).**

El Registro de Localización de Abonados Propios (HLR, *Home Location Register*) es una base de datos que almacena y gestiona todas las suscripciones móviles que pertenecen a un operador concreto. El HLR almacena todos los datos permanentes de los abonados, incluyendo servicios suplementarios, situación del móvil en cada momento (en qué MSC está registrado) y parámetros de autenticación. Cada vez que alguien compra una suscripción, ésta queda registrada en el HLR del operador en cuestión. El HLR puede estar implementado como base de datos independiente o como parte de la MSC/VLR.

#### **3.4.4 VLR (VISITOR LOCATION REGISTER).**

El Registro de Localización de Visitantes (VLR, *Visitor Location Register*) es una base de datos que contiene información sobre todos los móviles situados en un momento dado en el área de servicio de una MSC. El VLR contiene información temporal del abonado necesaria para que la MSC pueda proporcionar servicio a los abonados visitantes. El VLR suele estar integrado en la MSC.

Cuando un móvil cambia de área de servicio, el VLR conectado a esa MSC solicita y almacena datos sobre los móviles desde el HLR. Si posteriormente el móvil hace una llamada, el VLR tendrá información necesaria para el establecimiento de la misma.

Así pues, la diferencia entre el HLR y VLR radica en que el VLR almacena los datos de un abonado sólo mientras está registrado en su MSC. El HLR almacena datos de abonado permanentemente. De todo esto se deduce que necesitamos un VLR por MSC, mientras que el HLR es único para un operador (aunque físicamente se encuentre distribuido).

#### **3.4.5 AUC (AUTHENTICATION CENTER).**

El Centro de Autenticación (AUC, *Authentication Center*) es una base de datos conectada al HLR, cuya función es proporcionarle parámetros de autenticación y claves de cifrado. Se trata de dotar al sistema de seguridad y proteger a los operadores contra el fraude. El procedimiento de autenticación y cifrado lo veremos resumidamente a continuación y más detenidamente al final del capítulo.

Por razones de seguridad, los datos y la señalización se cifran en el interfaz radio, y la suscripción móvil se autentifica cada vez que la estación móvil accede al sistema. En el AUC y en la SIM de la estación móvil se almacenan claves secretas utilizadas para este propósito.

Inicialmente, el AUC provee unas “tripletas” de autenticación cada vez que el HLR se lo solicita. Cada abonado debe estar registrado en el AUC con su IMSI y su clave de cifrado (Ki) para que éste genere las tripletas. Las tripletas para cada abonado se almacenan automáticamente en el HLR y se entregan a la MSC/VLR bajo demanda, de modo que una MSC/VLR siempre tiene una tripleta disponible para cada abonado visitante en su área de servicio.

La comprobación de que la autenticación ha sido correcta se lleva a cabo en la MSC/VLR. EL cifrado lo lleva a cabo la BTS a partir de la clave de cifrado generada por el AUC.

### 3.4.6 EIR (EQUIPMENT IDENTITY REGISTER).

El Registro de Identidades de Equipos (*EIR, Equipment Identity Register*) es una base de datos que contiene identidades de los terminales móviles. Esto posibilita el bloqueo de llamadas desde terminales robados, no autorizados o defectuosos. Esta comprobación de la legalidad del terminal móvil es posible gracias al uso administrativo del IMEI (*International Mobile Equipment Identity*), que identifica al terminal móvil. La MSC al recibir el IMEI lo envía al EIR, que consulta 3 listas:

- **Lista blanca.** Contiene todas las series de números de todas las identidades de equipos móviles que se han asignado en los distintos países que utilizan la tecnología GSM.
- **Lista negra.** Contiene todas las identidades de equipos robadas.
- **Lista gris.** Contiene todas las identidades de equipos defectuosos o no homologados.

El resultado de la consulta se envía a la MSC, que decidirá si el móvil accede a la red o no.

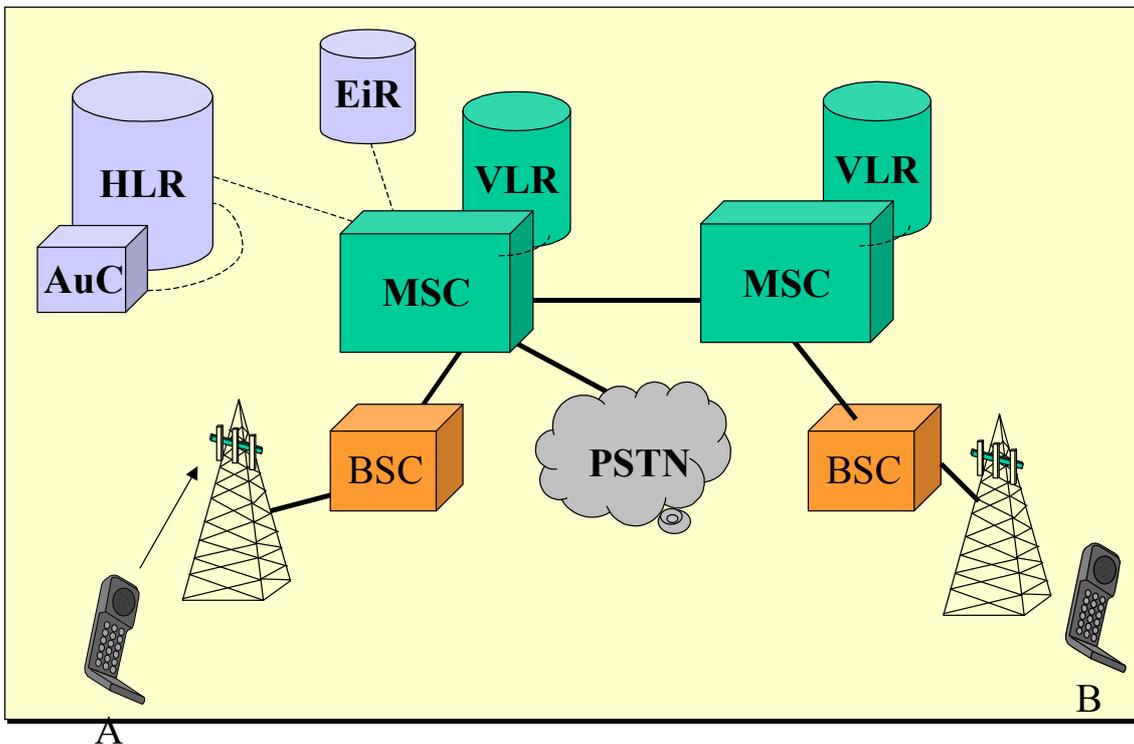


Figura 3.29. Figura de una red GSM.

### **3.4.7 NODOS OPCIONALES.**

#### ***3.4.7.1 VMS (Vox Mail Service).***

El *Vox mail Service* almacena los mensajes de voz de los usuarios que tengan dado de alta el buzón de voz. El usuario, cuando desea escuchar sus mensajes vocales, hace una llamada a un número determinado y puede escuchar la grabación de los mismos. Es un equipo de grabación de mensajes vocales (normalmente un conjunto de discos duros, con su correspondiente gestión). Almacena, también, mensajes de personalización de los buzones de voz de cada cliente.

#### ***3.4.7.2 BGW (Billing Gateway).***

El *Billing Gateway* recoge información de facturación o Registros de Datos de Llamadas (*Call Data Records, CDRs*). Estos ficheros se transmiten desde los elementos de red a los sistemas post-proceso de datos.

#### ***3.4.7.3 GIWU (GSM Interworking Unit).***

Proporciona un interface a varias redes para comunicación de datos. Por medio del GIWU, (*GSM InterWorking Unit*), los usuarios pueden alternar entre voz y datos durante una misma llamada. Sus funciones principales incluyen el disponer de un conjunto de adaptadores de fax y módem y la capacidad de realizar adaptaciones de velocidad.

#### ***3.4.7.4 ILR(Interworking Location Register).***

Hace posible el seguimiento entre sistemas, lo que significa que un usuario pueda encontrarse en redes de diferente tecnología. Localiza a un abonado a nivel de sistema, AMPS, PCS, etc.

#### ***3.4.7.5 MIN (Mobile Intelligent Network).***

Es el nodo utilizado para la gestión de servicios de red inteligente. Normalmente es una funcionalidad incluida en la MSC (SSF, Service Switching Function) que interactúa con el verdadero nodo de red inteligente, el SCP (Service Control Function).

#### ***3.4.7.7 MXE (Message Center).***

El Centro de Mensajes es el nodo que se utiliza para la gestión del Servicio de Mensajes Cortos (Short Message Service, SMS), la multidifusión celular, el correo de voz y fax (VMS, Voice Mail Service).

## 3.5 Subsistema de operación y mantenimiento (OSS)

El sistema de “Operation and Support System” (OSS) da los medios para realizar toda la operación y el mantenimiento de la red de forma centralizada, regional o local. El OSS es la entidad desde la cual el operador monitoriza y controla el sistema.

OSS es una función de gestión en dos niveles. Se define un “**Network Management Center**” (NMC) que actúa a nivel nacional con unos centros regionales “**Operation and Maintenance Center**” (OMC) distribuidos por las zona.

En cada OMC se operan y supervisan los elementos de red que pertenecen a su zona, mientras que desde el NMC se puede hacer una gestión a nivel nacional.

Toda red de móviles dispone de un centro de gestión denominado centro de gestión de la red (NMC) cuya ubicación suele coincidir con uno de los OMC. El NMC se ocupa de la supervisión de la red en su totalidad, para lo cual está constantemente recogiendo, almacenando, analizando e identificando datos. Durante las horas de menos utilización del servicio, este centro se encarga de las tareas de supervisión a escala territorial que realizan los OMC durante las horas de servicio ordinario.

El centro de gestión de la red administra el soporte lógico de los sistemas y herramientas empleados en el control de ésta: el sistema de gestión de la red (NMS), el sistema de notificación de reclamaciones y anomalías (TTRS) y la red de gestión integral. Estos sistemas y herramientas asisten permanentemente a los centros de conmutación de móviles y al propio centro de gestión de la red en las tareas de medición y análisis de la red, y les avisan en caso de que se produzca una sobrecarga de tráfico, de los problemas que puedan surgir y de las repercusiones que todo ello pueda tener para los clientes.

Los datos recogidos y almacenados por el NMC se utilizan igualmente para la planificación de la red, así como para cualquier reestructuración o modificación en la misma (como puede ser por ejemplo el incremento del número de estaciones de base) para conseguir la total utilización de la misma.

### **3.5.1 INTRODUCCIÓN A LA HERRAMIENTA OMC.**

El OMC-B es una aplicación que permite gestionar y supervisar el subsistema radio BSS. Además de recoger datos sobre alarmas, medidas de calidad y configuración de la red, los almacena y genera informes.

El OMC-B es una aplicación distribuida, definida según el modelo cliente servidor, sobre los siguientes subsistemas:

- **OMP (Operation and Maintenance Processor).** Servidor que maneja toda la información de operación y mantenimiento generada por los elementos de red o los terminales OMT.

- **OMT (Operation and Maintenance Terminal).** Terminal que funciona como cliente y proporciona la interfaz gráfica que nos permite interactuar con el sistema. Se conectan al OMP a través de una LAN.

Se define el OMC-C como el interfaz de supervisión de la parte NSS del sistema GSM. Los servicios y monitorización son equivalentes al del OMC-B.

La aplicación proporciona varias funciones necesarias para controlar y monitorizar la operación de la red y de ella misma:

- Gestión de fallos.
- Gestión de test.
- Gestión de la calidad.
- Gestión de difusión en celdas.
- Gestión de configuración.
- Gestión del software.

### **3.5.2 GESTIÓN DE FALLOS.**

Los fallos detectados en la red se transmiten al OMC y al LMT (Local monitoring Terminal) (en caso de estar conectado). Estos fallos comprenden cambios de estado y status y alarmas en los elementos de red, tanto físicos como lógicos. Las alarmas son transferidas desde la BTS y TRAU vía la BSC al OMC, y son almacenados en tablas. Hay cinco tipos de alarmas: de equipamiento, de comunicación, de calidad de servicio, externas y de procesamiento.

La visualización de las alarmas se puede llevar a cabo de distintas maneras, en tiempo real (con el AlarmsMonitor), las activas en un instante dado (ActiveAlarms), histórico (ErrorsLog) o las alarmas cesadas (CeasedAlarms).

A través de distintos comandos también se puede ver los estados de un elemento de red, lo que permite detectar fallos en los recursos radio. El cambio de estado de un objeto provoca un cambio de representación en la interfaz gráfica del OMC-B.

### **3.5.3 GESTIÓN DE TEST.**

Es posible realizar pruebas remotas sobre los elementos de red, estos elementos sólo pueden ser componentes hardware. Los tests están estructurados en una serie de rutinas ejecutadas en orden secuencial, a su vez cada rutina está dividida en varias fases:

- Una fase de comienzo para inicializar correctamente el elemento que va ser testado.
- Una fase de aborto para limpiar la configuración en caso de interrupción del test.
- Un número variable de fases de trabajo.
- Una fase de finalización para restablecer el estado en el cual estaba el elemento antes de ejecutar el test, o si no se ha superado el test, dejar el elemento en fuera de servicio.

El resultado de los tests se almacena en tablas que permiten el posterior análisis de los resultados. Los tests que han sido iniciados desde el LMT no envían sus resultados al OMC. Los tests pueden ser programados para que se ejecuten en un determinado periodo de tiempo y con una determinada periodicidad.

#### **3.5.4 GESTIÓN DE LA CALIDAD.**

La herramienta OMC proporciona un conjunto de funciones que permiten al operador medir el rendimiento de la red. El operador establece medidas con distintos parámetros, puede también borrarlos, modificarlos, desactivarlos, visualizar los atributos, etc.

Los escáners permiten recolectar datos de mediciones de determinado tipo en los objetos especificados. Existen medidas para BSC, para BTS, para HANDOVER, para SEÑALIZACIÓN SS7, para CANALES, para BTSM y para TRX.

Las medidas se almacenan en tablas de la base de datos, y por lo tanto pueden capturarse y ser visualizadas. La recuperación de las medidas se hace sobre el objeto adecuado (icono del BTSM, BSC, SS7link y TRX). Cada objeto puede tener varias medidas, de cada medida se obtiene un detalle donde se refleja a la hora que se toma la medida, si el valor es válido, la frecuencia con que se toma la medida... .

Con estos datos podemos generar informes o gráficos para analizar los datos, a través de esta información se pueden identificar deficiencias en la calidad del servicio que no son detectados por las funciones de detección de fallo, y se ayuda a optimizar la red.

#### **3.5.5 GESTIÓN DE LA DIFUSIÓN EN CELDAS.**

El servicio de difusión de mensajes cortos permite difundir cíclicamente mensajes cortos en un área geográfica de la red. Todo el proceso y programación de los mensajes que serán difundidos se realiza en una parte del OMC-B llamada centro de difusión en celdas (CBC: Cell Broadcast Center).

Los mensajes son enrutados desde el CBC, vía BSC y BTS a los móviles de un área determinada. Estos mensajes son difundidos periódicamente, a una frecuencia y con una duración determinada que es especificada por el operador en el momento de crear un área y un mensaje en el CBC.

Cuando la BSC recibe la información a difundir en las celdas, la almacena y la distribuye, teniendo en cuenta el número de retransmisiones y la velocidad de transmisión.

Para crear estos mensajes se debe definir primero un área de difusión, después añadir las celdas que formarán esa área y finalmente introducir el mensaje que se debe emitir en ese área. Toda esta información está almacenada en una base de datos en el CBC, encargándose éste del mantenimiento de la misma.

### **3.5.6 GESTIÓN DE LA CONFIGURACIÓN.**

A través de las funciones de gestión de la configuración, definimos la composición de la red, esto es, administramos los recursos de la red, los cambios, el estado de los componentes y la identificación.

El operador puede ejecutar comandos de crear, borrar o modificar elementos de la red para desarrollar todas las funciones de configuración de la red.

La información de configuración se representa en el OMC-B de dos modos diferentes:

- **Objetos físicos**, los cuales representan las tarjetas hardware y el software del sistema.
- **Objetos lógicos**, describen las funciones de telecomunicaciones que son realizadas por el sistema. Un típico ejemplo de esto son los canales.

Hay tres formas de realizar los procedimientos de configuración:

- **On Line**, el operador introduce comandos a través de menús específicos.
- Usando **Scripts**, un fichero puede ser preparado en formato ASCII, convertirlo en ejecutable y ejecutar los comandos que contenga en el momento apropiado.
- **DBAEM handling**, el operador puede crear o modificar la base de datos usando un editor o una herramienta específica (CADDIE). La base de datos es creada en formato ASCII, después se convierte a binario y ese fichero DBA puede ser descargado a la BSC y activado, pasando esa BSC a tener la configuración que habíamos decidido.

### **3.5.7 GESTIÓN DEL SOFTWARE.**

A través de la herramienta OMC-B se pueden gestionar distintos tipos de ficheros. Tanto del sistema radio como del propio OMC-B. Estos tipos de ficheros son: ficheros que constituyen el software de los elementos de red y los propios ficheros de datos, en los que se define toda la configuración de cada subsistema BSS.

Los ficheros que constituyen el software pueden ser de distintos tipos: ficheros ejecutables que están relacionados de forma unívoca con un procesador del sistema BSS, un fichero denominado cabecera que contiene un listado de todos los ficheros que forman la carga del software, y por último ficheros de parches, si existen. Para cargar el software en los discos duros de la BSC hay que hacer un download al directorio especificado de la BSC. Primero se debe descargar el fichero de cabecera, para después descargar el resto de los ficheros.

Los ficheros de datos relacionados con cada subsistema BSS pueden ser: ficheros DBA que son las bases de datos almacenadas en los directorios del disco de la BSC, ficheros genéricos que pueden estar almacenados en cualquier directorio de la BSC. Estos ficheros se pueden descargar de la BSC al disco duro del OMC (upload), así se puede realizar un backup periódico, para analizar inconsistencias en la red... , o desde el OMC al disco de BSC normalmente utilizado para hacer cambios masivos de datos.

Las bases de datos se almacenan en formato binario inteligible para las BSCs. Para poder operar con las bases de datos existe una aplicación que la convierte a formato ASCII. Una vez convertida tiene el aspecto de un fichero de texto con muchas líneas de código que definen toda la configuración de la BSC.

## 3.6 Procesos básicos

### 3.6.1 INTRODUCCIÓN.

Una de las tareas más importantes y complejas de un sistema de telefonía móvil es la de mantener constantemente actualizada la información acerca de dónde están situadas las estaciones móviles. Una de las principales funciones del Centro de Conmutación de Servicios Móviles (MSC) y del Registro de Localización de Visitantes (VLR) es la de almacenar dicha información (área de localización en la que se encuentran las estaciones móviles).

Por otro lado, es responsabilidad de la estación móvil informar siempre a la red acerca de los cambios producidos en su localización. Además debe comprobar constantemente que está sintonizada a la frecuencia más potente.

A continuación, veremos los casos básicos de tráfico que tienen lugar en una red GSM. Para ello conviene aclarar previamente ciertos términos que utilizaremos en la descripción de dichos casos y escenarios.

- **Modo libre.** La estación móvil está encendida pero no en conversación.
- **Modo activo.** La estación móvil está encendida y con una llamada establecida.
- **Modo inactivo.** La estación móvil está apagada.
- **Roaming.** La estación móvil se mueve por la red en modo libre.
- **Handover.** La estación móvil pasa de una célula a otra estando en modo activo.
- **Registro y actualización de localización (location updating).** La estación móvil, cuando está haciendo roaming por la red, debe informar en todo momento de cuándo entra en una nueva área de localización. El proceso de Location Updating sólo tiene lugar cuando están en modo libre. Cuando el cambio de área de localización tiene lugar en modo activo, la actualización tiene lugar cuando se pasa a modo libre.
- **Búsqueda (paging).** La MSC/VLR emite un mensaje para informar a la estación móvil de que tiene una llamada entrante.

A lo largo de este apartado veremos procesos específicos de una red GSM que tienen lugar en cualquier llamada originada o terminada en móvil.

Para conmutar una llamada hacia un móvil, se deben utilizar las identidades apropiadas, entendiendo identidades como series numéricas que identifican distintos elementos lógicos y físicos dentro de una red GSM.

Estas entidades cobran sentido en cualquier comunicación en que esté involucrado un móvil.

### **3.6.2 ENTIDADES NUMÉRICAS.**

#### **3.6.2.1 MSISDN (Mobile Station ISDN Number).**

El MSISDN, número RDSI de una estación móvil, es un número que identifica de forma única una suscripción móvil, dentro del plan de numeración de la red telefónica pública conmutada (E.164). EL MSISDN está determinado por la estructura y plan de numeración de cada operador. La longitud máxima en cualquier caso es de 15 dígitos sin incluir prefijos. El MSISDN se compone de los siguientes dígitos.

$$\text{MSISDN}=\text{CC}+\text{NDC}+\text{SN}$$

CC = Country Code o código de país.

NDC = National Destination Code o código nacional de destino.

SN = Subscriber Number o número de abonado.

#### **3.6.2.2 IMSI (International Mobile Subscriber Identity).**

El IMSI, Identidad internacional de abonado móvil, es un código de identificación único para cada abonado, que permite su identificación sobre el interfaz radio y a través de la red. Se utiliza para todo tipo de señalización dentro de la red. Toda la información del abonado está relacionada con el IMSI, no con el MSISDN. El IMSI se almacena en el Módulo de Identidad de Abonado (SIM), en el HLR y en el VLR del área de servicio. De acuerdo con la norma GSM, el IMSI tiene una longitud máxima de 15 dígitos y consta de los siguientes campos:

$$\text{IMSI}=\text{MCC}+\text{MNC}+\text{MSIN}$$

MCC=Mobile Country Code o código móvil de país.

MNC =Mobile Network Code o código móvil de red.

MSIN= Mobile Station Identity Number o número identificativo de estación móvil.

#### **3.6.2.3 TMSI (Temporary Mobile Subscriber Identity).**

EL TMSI (Identidad Temporal de Abonado Móvil) es un IMSI temporal. Se utiliza para mantener la confidencialidad de la información de abonado en el interfaz aire. El TMSI es únicamente relevante a nivel local, es decir, dentro del área de servicio de una MSC/VLR, y puede cambiarse en determinados intervalos temporales. La estructura del TMSI puede ser determinada por cada operador. Cada vez que una estación móvil solicita un procedimiento del sistema, por ejemplo, una actualización de localización, un intento de llamada o la activación de un servicio, la MSC/VLR puede asignar una nueva Identidad Temporal de Abonado Móvil (TMSI) al IMSI. La MSC/VLR transmite el TMSI a la estación móvil que lo almacena en la tarjeta SIM. A partir de ese momento la señalización entre MSC/VLR y la MS sólo utilizará el TMSI. De este modo, la identidad real, el IMSI, del abonado no se transmite por el interfaz radio otra vez.

#### **3.6.2.4 IMEI(International Mobile Equipment Identity).**

El IMEI, Identificativo internacional de equipo móvil, se utiliza únicamente para identificar un equipo, e identifica un móvil desde el punto de vista HW. De acuerdo con las especificaciones GSM /PCS, el IMEI tiene una longitud total de 15 dígitos.

### **3.6.2.5 MSRN (Mobile Station Roaming Number).**

EL HLR conoce en todo momento en qué área de servicio se encuentra localizado un abonado, es decir, el HLR sabe en qué MSC está registrado un abonado en cada momento. Con el fin de proporcionar un número temporal necesario para el enrutamiento, el HLR solicita a la MSC/VLR en servicio que reserve y le envíe un número de roaming o MSRN (Mobile Station Roaming Number) para el abonado llamado. Cuando el HLR recibe el MSRN, se lo devuelve a la GMSC que enruta la llamada a la MSC/VLR donde el abonado llamado se encuentra registrado. La función de interrogación de llamada (petición de un MSRN) se lleva a cabo a través de protocolos MAP (Parte de Aplicación de Móviles). Todos estos datos intercambiados entre GMSC, HLR y MSC/VLR para la interrogación se envían por la red de señalización. El MSRN consta de tres partes:

$$\text{MSRN}=\text{CC}+\text{NDC}+\text{SN}$$

CC=Country Code o código de móvil de país.

NDC=National Destination Code o código nacional de destino.

SN=Subscriber Number o número de abonado. En este caso el SN en vez de hacer referencia a un cliente como en el MSISDN, hace referencia a un MSC.

### **3.6.2.6 LN (Location Number).**

El número de Localización es un número relacionado con una determinada área geográfica, la que decida el operador. Este número se asocia a las células que el operador quiere que pertenezcan a dicha área. Este número se utiliza para implementar funciones tales como la suscripción Local/Regional y la Tarificación diferenciada geográficamente. Los campos del LN son los siguientes.

$$\text{LN}=\text{CC}+\text{NDC}+\text{LSP}$$

CC=Country Code o código de móvil de país.

NDC=National Destination Number o código nacional de destino.

LSP=Local Significant Part o Parte local relevante.

### **3.6.2.7 LAI (Location Area Identification).**

El LAI, identificador de área de localización, tiene dos funciones:

- Se utiliza en el proceso de búsqueda o “paging” para informar a la MSC en qué área de localización se encuentra el abonado.
- Se utiliza en el proceso de “Location Updating” (Actualización de Localización) de los abonados móviles.

Una Location Area se define como la zona geográfica en la que un móvil puede moverse sin llevar a cabo un “Location Updating”. Los campos que forman el LAI son los siguientes:

$$\text{LAI}=\text{MCC}+\text{MNC}+\text{LAC}$$

MCC=Mobile Country Code o código móvil de país.

MNC=Mobile Network Code o código móvil de red.

LAC= Location Area Code (16 bits) o código de área de localización.

### **3.6.2.8 CGI (Cell Global Identity).**

EL CGI, identificador de celda global, se utiliza para identificar una celda dentro de un área de localización. Esto se consigue añadiendo una identidad de celda (CI, Cell Identity) a los componentes del LAI. El CI tiene una longitud máxima de 16 bits.

$$\text{CGI}=\text{MCC}+\text{MNC}+\text{LAC}+\text{CI}$$

CI=Cell ID (16 bits) o identificador de celda.

### **3.6.2.9 BSIC (Base Station Identity Code).**

El BSIC hace posible que un móvil distinga entre diferentes estaciones base vecinas. El BSIC consta de:

$$\text{BSIC}=\text{NCC}+\text{BCC}.$$

NCC: Network Colour Code o código de color de red. Identifica la PLMN (red de móviles). Identifica al operador. El NCC se usa principalmente para distinguir entre operadores, por ejemplo en cada lado de una frontera.

BCC: Base Station Colour Code o código de color de E.B.. Identifica a la Estación Base y ayuda a distinguir entre BTSs que usan el mismo BCCH.

## **3.6.3 REGISTRO**

Si una estación móvil desea obtener servicio desde una célula y, en particular, recibir llamadas en ésta, debe cerciorarse de que su usuario (representado por la SIM) se registra en el área de localización de dicha célula. El estado de registro del usuario, excepto en casos de fallos en la red o tras un largo tiempo de inactividad, sólo puede modificarse a iniciativa de la estación móvil. El resultado del último intento de registro se almacena en la SIM, así como la identidad del área de localización. Cuando el móvil se desplaza a un lugar mejor cubierto por una célula perteneciente a otro área de localización, o cuando el móvil intenta obtener servicio en otra red, la estación móvil debe intentar registrar al usuario en esta nueva zona.

La información de registro se almacena en dos lugares diferentes de la infraestructura GSM: en el HLR y en la MSC/VLR visitados. De hecho, la misma información está disponible en tres lugares diferentes del sistema, siendo la SIM el tercer lugar. Esta información puede cambiar y se necesitan una serie de procedimientos para guardar coherencia entre las tres entidades.

La razón fundamental para cambiar es cuando la estación móvil decide que el área de localización que mejor le sirve debe cambiar. Entonces, la estación móvil notifica a la MSC/VLR a la que pertenece la nueva célula. Esta MSC/VLR puede ser la misma que la de antes, si controla ambas áreas de localización, o una nueva. En el último caso, cambio de MSC/VLR, la nueva MSC/VLR notifica al HLR el cual, a su vez, notifica a la MSC/VLR anteriores.

Además de los registros debidos a cambios de área de localización, se define un registro periódico de manera que la estación móvil pueda notificar su presencia en la red a intervalos de tiempo determinados. Este registro periódico es un parámetro que determina el operador, pudiendo incluso eliminarlo, si lo desea.

### **3.6.4 GESTIÓN DE LA LOCALIZACIÓN**

La movilidad de los usuarios en un sistema celular genera las mayores diferencias con la telefonía fija, en particular en las llamadas recibidas. Una red puede encaminar una llamada hacia un usuario fijo simplemente sabiendo su dirección de red (p. ej. su número de teléfono), dado que el conmutador local al cual se conecta directamente la línea del abonado, no cambia. Sin embargo en un sistema celular la celda en la que se debe establecer el contacto con el usuario cambia cuando éste se mueve. Para recibir llamadas, primero se debe localizar al usuario móvil, y después el sistema debe determinar en qué celda está actualmente.

En la práctica se usan tres métodos diferentes para tener este conocimiento.

- En el primer método, la estación móvil indica cada cambio de celda a la red. Se le llama **actualización sistemática de la localización al nivel de celda**. Cuando llega una llamada, se necesita enviar un mensaje de búsqueda sólo a la celda donde está el móvil, ya que ésta es conocida.
- Un segundo método sería enviar un mensaje de página a todas las celdas de la red cuando llega una llamada, evitándonos así la necesidad de que el móvil esté continuamente avisando a la red de su posición.
- El tercer método es un compromiso entre los dos primeros introduciendo el concepto de **área de localización**. Un área de localización es un grupo de celdas, cada una de ellas pertenecientes a un área de localización simple. La identidad del área de localización a la que una celda pertenece se les envía a través de un canal de difusión ("broadcast"), permitiendo a las estaciones móviles saber el área de localización en la que están en cada momento. Cuando una estación móvil cambia de celda se pueden dar dos casos:
  - Ambas celdas están en la misma área de localización. La estación móvil no envía ninguna información a la red.
  - Las celdas pertenecen a diferentes áreas de localización. La estación móvil informa a la red de su cambio de área de localización.

Cuando llega una llamada solamente se necesita enviar un mensaje a aquellas celdas que pertenecen al área de localización que se actualizó la última vez. GSM utiliza éste método.

### **3.6.5 LOCATION UPDATING.**

Cuando la estación móvil se mueve libremente por la red GSM, puede ser rápidamente localizada en caso de que tenga una llamada entrante, porque la red sabe en cada momento dónde se encuentra.

Con el fin de tener dicha localización actualizada, la estación móvil debe informar a la red siempre que cambie de área de localización. Un área de localización consta de una o más celdas en las cuales un móvil se puede mover libremente sin necesidad de actualizar su posición en la red. Un área de localización está controlada por una o más BSCs (Base Station Controllers), pero sólo por una MSC (Mobile Services Switching Center).

La BSC manda mensajes de “paging” o búsqueda hacia las celdas definidas dentro de un área de localización determinada. Si la estación móvil se mueve entre celdas pertenecientes a áreas de localización distintas, la red debe ser informada vía el procedimiento denominado “Location Updating” o actualización de localización. Existen cuatro tipos de location updating:

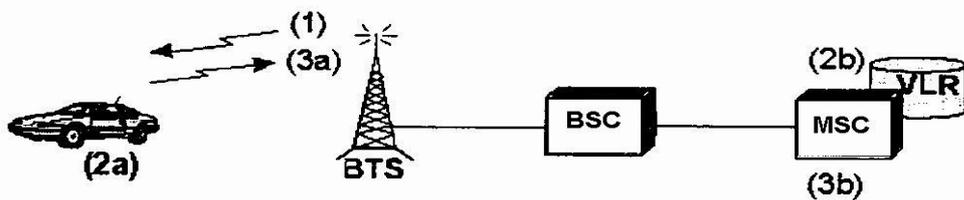
- Registro Periódico.
- Normal.
- IMSI Attach.
- IMSI Detach.

### 3.6.5.1 Location Updating Periódico.

El proceso de Location updating periódico se utiliza para evitar una búsqueda innecesaria del móvil por toda la red, en el caso en que ninguna MSC haya recibido el mensaje de IMSI detach.

El proceso es el siguiente:

1. La estación móvil recibe información acerca de si la red utiliza el location updating periódico. En caso de que sí se utilice, el móvil es informado de la frecuencia con que debe informar a la red de que está activo. Existe un parámetro para tal fin, definido por el operador que puede tomar un valor desde 0 hasta 255 decihoras. Cuando vale 0, se entiende que el location updating periódico no se está usando. Si vale 1, el móvil deberá registrarse cada 6 minutos.
2. El proceso está controlado por temporizadores en el móvil y en la MSC. En la MSC hay una función para rastrear los temporizadores de las estaciones móviles.
3. Cuando el temporizador de una estación móvil expira, se le fuerza a llevar a cabo un location updating. En ese momento los contadores a ambos lados se resetean. Si, por el contrario, el teléfono no se registra en un determinado periodo de tiempo, la MSC lo marca como “detached”.



Actualización de localización periódica

Figura 3.30 . Location Updating Periódico.

**3.6.5.2 Location Updating Normal.**

Las celdas transmiten constantemente el LAI (Location Area Identity ) por el canal de control (BCCH). Cuando la estación móvil detecta que el LAI recibido es diferente del que tiene almacenado en la SIM, lleva a cabo un Location Updating.

Si la identidad del abonado móvil es desconocida en la MSC/VLR, es decir, si el LAI pertenece a un área servida por otra MSC, la MSC/VLR debe actualizarse con la información de abonado. Esta información proviene del HLR. El proceso completo de Location Updating se describe a continuación.

1. El móvil solicita un Location Updating en una MSC/VLR nueva. El IMSI se utiliza para identificar al abonado. El IMEI también se comprueba (en las redes que tengan implementada esta funcionalidad).
2. Se lleva a cabo un análisis del IMSI en la MSC/VLR. El resultado de este análisis es una asociación del IMSI a un Mobile Global Title (MGT) utilizado para enrutar hacia el HLR.
3. La MSC/VLR solicita al HLR la información del abonado de la estación móvil.
4. El HLR almacena la dirección de la nueva MSC/VLR y envía los datos de abonado a la nueva MSC/VLR.
5. EL HLR ordena a la MSC/VLR, que daba servicio a la celda en donde se encontraba la estación móvil antiguamente, que borre todos los datos del abonado, porque ahora es atendido por otra MSC/VLR.
6. Cuando la nueva MSC/VLR recibe la información del HLR, envía un mensaje de confirmación de location updating a la estación móvil.

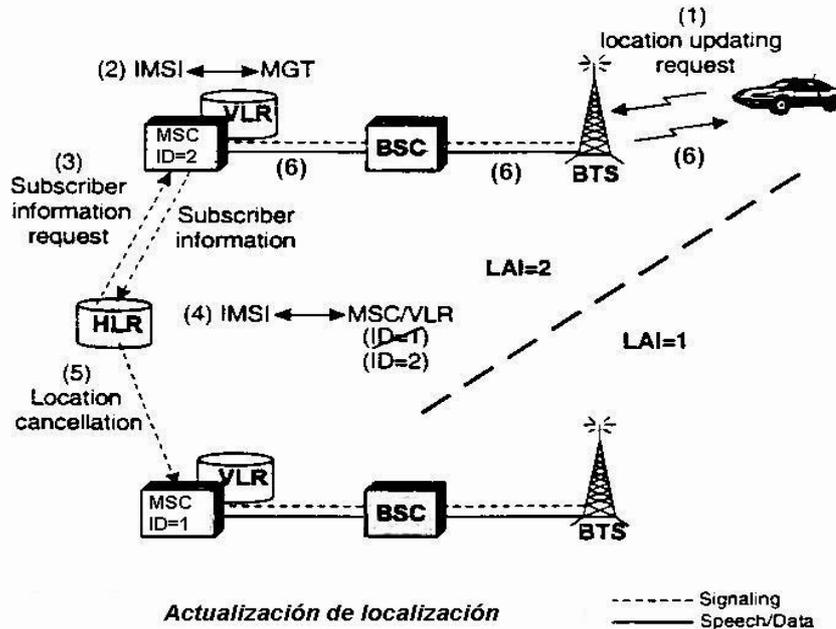


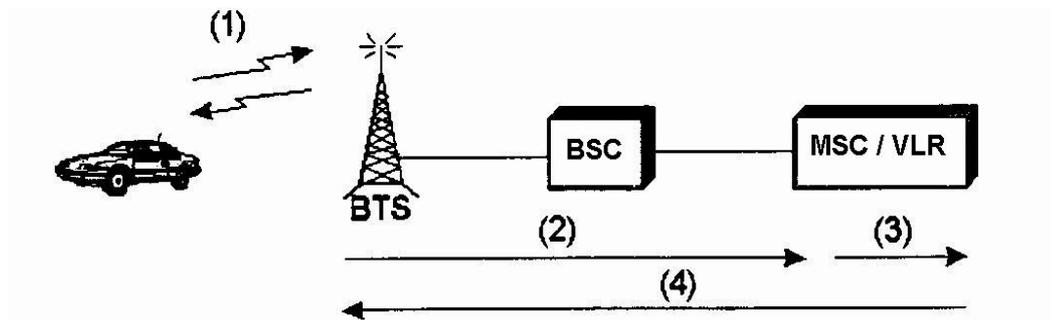
Figura 3.31 . Location Updating Normal.

En el caso de que la nueva área de localización sea atendida por la misma MSC/VLR, el proceso se simplifica radicalmente puesto que no es necesario consultar ni informar al HLR de nada.

### 3.6.5.3 IMSI attach.

El procedimiento de “attach” es complementario al de “detach”. El móvil indica, a través de este procedimiento, que ha vuelto a entrar en la red en modo activo y que se encuentra todavía en la misma área de localización. Si hubiera salido de dicha área estando apagado, se llevaría a cabo un location updating normal, descrito posteriormente. El proceso de “attach” es como sigue:

1. El móvil pide un canal de señalización.
2. La MSC/VLR recibe el mensaje de IMSI attach de la estación móvil.
3. La MSC/VLR activa el flag de attach en el VLR, de manera que el móvil ya está listo para recibir y hacer llamadas con normalidad.
4. El VLR envía un mensaje de reconocimiento a la estación móvil.



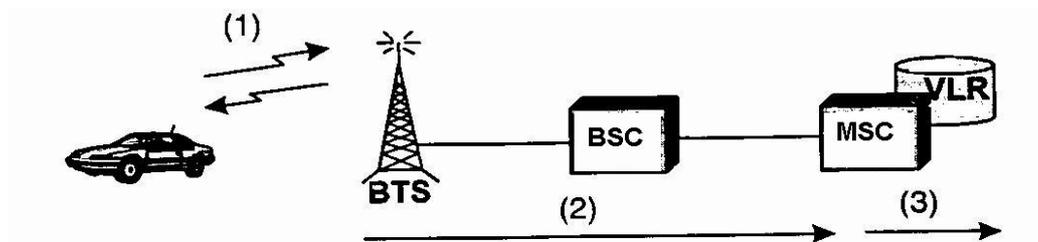
Activación del IMSI

Figura 3.32. IMSI attach.

### 3.6.5.4 IMSI detach.

En el broadcast de información del sistema que se lleva a cabo sobre el BCCH, el móvil recibe información acerca de si se utiliza o no la función de IMSI attach/detach. Si se utiliza, el móvil debe informar a la red de que va a pasar a modo inactivo (va a llevar a cabo el proceso de “detach”). El proceso es el siguiente:

1. Cuando apagamos el móvil, este lleva a cabo una petición de canal de señalización.
2. La estación móvil usa este canal de señalización para enviar un mensaje de “detach” a la MSC/VLR.
3. En el VLR se activa el flag de detach para el abonado en cuestión. De esta forma se rechazan las llamadas entrantes para él.



Desactivación del IMSI

Figura 3.33 . IMSI detach.

### **3.6.6 ESTABLECIMIENTO DE LLAMADA**

En primer lugar, el usuario introduce el número destino y el tipo de servicio que desea (voz, fax...) y pulsa la tecla de envío (SEND). La estación móvil pasará esta información a la MSC.

Cuando la MSC recibe el mensaje de establecimiento, analiza la petición y comprueba si puede aceptarla. La aceptación de la misma depende de la capacidad de la MSC/VLR para proveer este servicio (de forma compatible con la estación móvil que lo solicita), en las características de suscripción del cliente (determinado de forma local gracias a la información del cliente que el HLR envió a la MSC/VLR en el proceso de registro) y en la disponibilidad de recursos. Si alguno de estos requisitos falla, se aborta la llamada. Si todo está bien, la MSC comienza el establecimiento a través de la red y notifica a la estación móvil de este evento.

Transcurrido un tiempo, la MSC recibirá, de la red exterior, información sobre la petición de llamada realizada, tal y como lo ve la central a cargo de la persona llamada. Tal información puede indicar que el terminal de la persona llamada está siendo alertado, o que la llamada ha sido abortada por cualquier motivo (congestión, ocupado, no localizable, ...). Esta información es transferida directamente al usuario móvil y, en su caso, la MSC abortará la llamada.

Cuando el cliente destino responde a la llamada, la MSC recibe un mensaje indicándolo. Si esto ocurre, se establece un camino de voz entre los dos usuarios (hasta ahora todo ha sido señalización). Entonces, la estación móvil interrumpe la indicación de llamada, responde a la red y establece el circuito a través de la interfaz radio.

### **3.6.7 RECEPCIÓN DE LLAMADA**

Una llamada terminada llega a la MSC a través de los interfaces de ésta con las redes externas. Realmente, dicha llamada habrá sido enrutada desde la GMSC (Gateway MSC, o central que actúa de puente entre la red GSM y redes externas) hacia la MSC/VLR que está dando servicio en estos momentos al móvil, mediante consulta al HLR acerca de los datos de localización del móvil considerado.

Si el móvil no está ocupado en una llamada, el siguiente paso consiste en “buscar” a la estación móvil, es decir, ver si la estación móvil está en cobertura y, en este caso, solicitarle que establezca un enlace de señalización con la MSC. Cuando esta y otras tareas auxiliares se han realizado, se envía un mensaje a la estación móvil indicándole muchos detalles de la llamada, que incluyen el tipo de servicio solicitado y, en su caso, el número de teléfono del usuario llamante. La estación móvil comprueba si puede soportar el tipo de servicio solicitado y, si no, abortará la llamada.

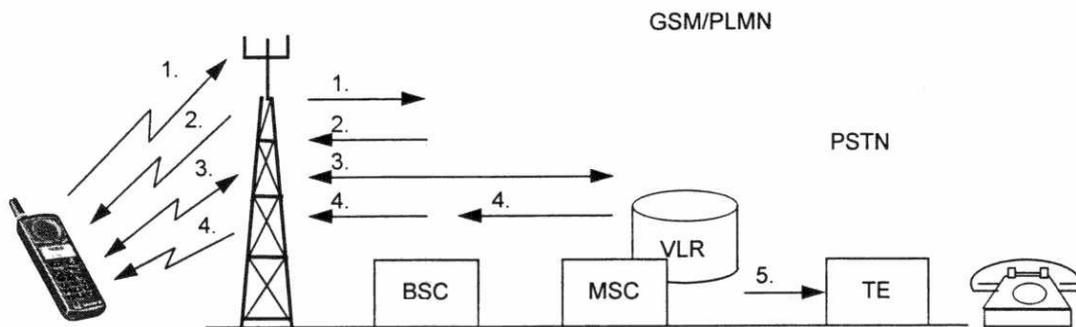
Si la estación móvil puede aceptar el servicio, alertará al usuario con un timbre o señal de llamada. Cuando esta señal ha comenzado, la estación móvil informa a la MSC la cual refleja este estado del móvil a la red externa.

El siguiente paso es la aceptación de la llamada por parte del usuario móvil, que ocurre cuando éste pulsa la tecla de envío (SEND). En este punto, se establece la comunicación vocal entre los usuarios.

### **3.6.8 LLAMADA DE MÓVIL A FIJO.**

A continuación veremos las acciones que tienen lugar durante el establecimiento de una llamada de voz desde una estación móvil.

1. El móvil solicita un canal de señalización.
2. La BSC asigna un canal de señalización.
3. El móvil envía una petición de establecimiento de llamada a la MSC/VLR a través del canal de señalización SDCCH. Todo el proceso de señalización incluye además:
  - Marcar la estación móvil como activa en la MSC/VLR.
  - Procedimiento de autenticación.
  - Inicio del cifrado de la identidad de equipo.
  - El envío del número del abonado llamado (o número B).
  - Comprobación de si el abonado tiene activo el servicio de restricción de llamadas salientes.
4. La MSC/VLR solicita a la BSC que reserve un canal de tráfico (TCH). Esta se lo comunica a la BTS para que active un TCH y a la estación móvil para que empiece a radiar por dicho TCH.
5. La MSC/VLR envía el número B a una central de la PSTN, que establece la conexión con el abonado B.
6. Si el abonado B contesta, se establece la conexión.



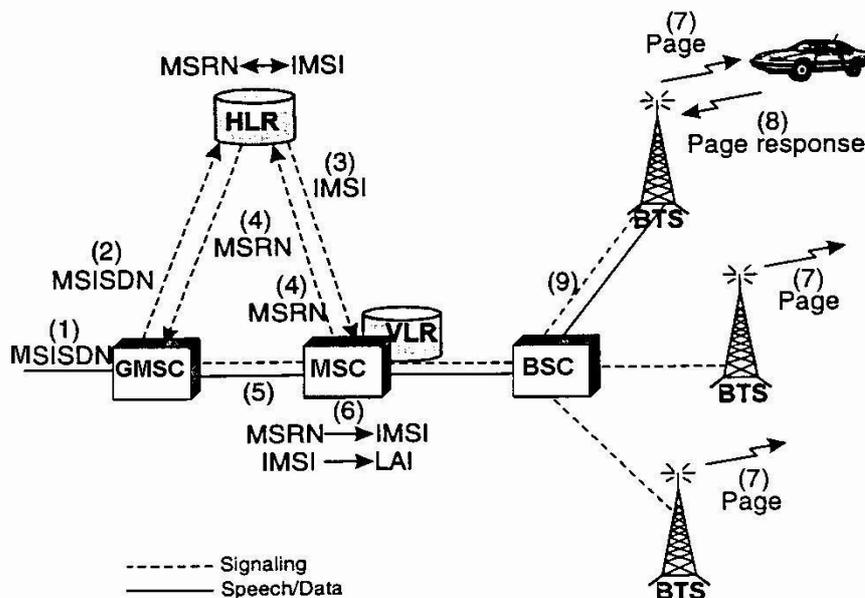
*Establecimiento de llamada desde una MS a la PSTN*

*Figura 3.34 . Llamada de móvil a fijo.*

### **3.6.9 LLAMADA DE FIJO A MÓVIL.**

La principal diferencia entre realizar una llamada dirigida a un abonado móvil o a uno de la PSTN es que la localización del abonado móvil es desconocida, mientras que la del abonado PSTN es fija. Por tanto, el establecimiento de llamada implicará una búsqueda o “paging “ de la estación móvil. El proceso se ilustra a continuación.

1. El abonado de la PSTN marca el número de la estación móvil a la que va a llamar (MSISDN). El MSISDN se analiza en la central local de conmutación de la red fija. La central sabe que es una llamada a un abonado de la red GSM. Se establece una conexión con la GMSC.
2. La GMSC analiza el MSISDN para averiguar en qué HLR (físico) está registrada la estación móvil y solicita al HLR en cuestión información acerca de cómo reenrutar la llamada a la MSC/VLR que le está dando servicio.
3. EL HLR traduce el MSISDN al IMSI y determina qué MSC/VLR está sirviendo a la estación móvil. El HLR también comprueba el servicio de “desvío a un número “. Si el servicio está activo, la GMSC reenruta la llamada a ese número.
4. El HLR solicita un número de roaming (MSRN) a la MSC/VLR que está dando servicio. La MSC/VLR devuelve el MSRN a la GMSC por el HLR.
5. La GMSC reenruta la llamada a la MSC/VLR directamente.
6. La MSC/VLR conoce en qué LA (Location Area) se encuentra la estación móvil. Se envía un mensaje de paging a las BSCs que controlan la LA (la norma GSM establece que sea la MSC además de la BSC la que almacena información de las celdas que pertenecen a una LA). Una vez la MSC /VLR recibe la llamada, usan el MSRN para averiguar el IMSI. En ese punto, el MSRN es liberado.
7. La BSC distribuye un mensaje de paging a las BTSs de la LA deseada. Las BTS transmiten el mensaje por el interfaz radio utilizando el canal de búsqueda. Para localizar la estación móvil se utiliza el IMSI o el TMSI.
8. Cuando la estación móvil detecta un mensaje de paging, envía una petición de canal de señalización.
9. El Canal de señalización se utiliza para los procedimientos de establecimiento de llamadas. Una vez establecida, se reserva un TCH y se libera un canal de señalización.
10. El móvil suena. Si el abonado contesta se establece la conexión.



Llamada terminada en móvil

*Figura 3.35. Llamada de fijo a móvil.*

### **3.6.11 HANDOVER O TRASPASO.**

El proceso de cambio de celda durante una llamada se denomina traspaso o “handover”. Para elegir mejor la célula destino, la estación móvil y la BTS realizan medidas.

Cuando el móvil contribuye en la decisión de handover, se denomina MAHO (Handover Asistido por Móvil, Mobile Assisted Handover).

La BTS en servicio mide la calidad y la potencia de señal en el enlace ascendente (Tasa de Error de Bit, BER) en su propia célula y en las portadoras adyacentes mientras la estación móvil se encuentra en modo activo.. Las medidas tomadas en la BTS y en la estación móvil se envían a la BSC en forma de informes de medida. Basándose en estos informes, la BSC decide si es necesario un handover y a qué célula se realizará. Las medidas resultantes se envían a la BTS a través del SAACH (canal de señalización) cada 480 ms.

Cuando una célula vecina es considerada como mejor que la célula en servicio, se intenta un handover. Otra razón para intentar un handover, además de por razones de potencia y calidad, es el Timing Advance (TA) o retardo. Si este valor utilizado por la estación móvil excede un valor umbral fijado por el operador, nos está indicando que la estación móvil está moviéndose en el borde de una célula a otra.

Cuando la estación móvil ha cambiado de célula, la nueva BTS le informa de las nuevas portadoras BCCH vecinas, y se vuelven a realizar medidas nuevas. Si la estación móvil ha cambiado también de área de localización, se llevará a cabo también un Location Updating al terminar la llamada.

#### ***3.6.11.1 Handover entre celdas controladas por la misma BSC.***

Cuando se realiza un handover entre celdas controladas por la misma BSC, la MSC no está involucrada. Sin embargo, sí será informada cuando el handover haya finalizado y haya sido completado.

Si el handover se lleva a cabo entre células pertenecientes a diferentes áreas de localización, se llevará a cabo un Location Updating de tipo normal cuando la llamada haya terminado.

En todo momento, es la BSC la que decide si es necesario llevar a cabo un handover, y a qué célula, a partir de los informes recibidos de la MS y de la BTS.

El procedimiento es el siguiente:

1. Durante una llamada, la estación móvil mide la potencia de la señal y la calidad del canal de tráfico o TCH que está utilizando. También analiza la potencia de la señal de las celdas adyacentes. Dos veces por segundo, la estación móvil envía un informe de medidas a la BTS en el que incluye las medidas de las mejores celdas vecinas.
2. La BTS añade sus propias medidas realizadas sobre el TCH y envía un informe a la BSC. En la BSC se decide si es necesario un handover a otra celda.
3. Si es necesario llevar a cabo un handover, la BSC comprueba si hay un canal disponible en la celda deseada, y si es así, le ordena a la BTS que active un TCH.
4. La BSC envía un mensaje a la MS a través de la antigua BTS, que contiene información acerca de la frecuencia y el intervalo de tiempo al que cambiar y la frecuencia de salida a utilizar.
5. La MS sintoniza la nueva frecuencia y transmite unas cuantas ráfagas de handover (handover bursts) en el intervalo temporal indicado. Como la MS todavía no dispone información de Timing Advance\*, las ráfagas de handover son muy cortas (8 bits de información) y se transmiten a través del FACCH. Cuando la BTS destino detecta las ráfagas de handover, envía la información de TA (Timing Advance) a través del FACCH (canal de señalización lógico).
6. La MS envía un mensaje de Handover Completo a la BSC por la nueva BTS.
7. Finalmente, la BSC indica a la antigua BTS que libere el TCH.

Si la estación móvil se aleja de la estación base durante una llamada, deberá enviar su información por adelantado respecto al tiempo de sincronización para que llegue en el intervalo de tiempo correspondiente en la estación base.

EL Timing Advance (avance en el tiempo) es un valor entre 0 y 63 que envía la BTS a la estación móvil indicándole cuánto antes deberá transmitir su información para que llegue exactamente en el TS acordado.

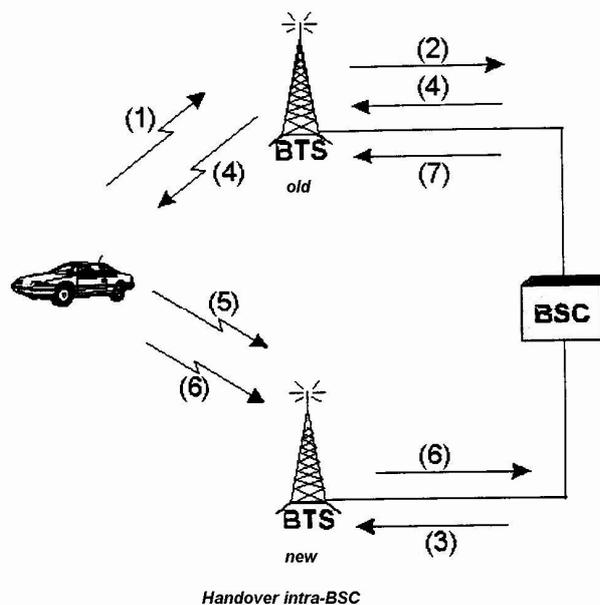


Figura 3.36. Handover entre celdas controladas por la misma BSC.

**3.6.11.2 Handover entre celdas controladas por diferentes BSC pero la misma MSC/VLR.**

Cuando otra BSC está involucrada en el handover, la MSC/VLR debe participar para establecer la conexión entre dos BSCs. El proceso se describe a continuación.

1. La BSC en servicio decide, a partir de los informes de medidas remitidos, que es necesario llevar a cabo un handover a otra celda perteneciente a una nueva BSC. La BSC en servicio envía un mensaje de handover requerido a la MSC, que contiene la identidad de la celda destino.
2. La MSC conoce qué BSC controla la BTS destino y envía un mensaje de solicitud de handover a su BSC.
3. La nueva BSC ordena a la BTS destino que active un TCH, si es que tiene uno libre.
4. La nueva BSC envía a la MS un mensaje de las BSC y BTS antiguas a través de la MSC. Este mensaje contiene información acerca de la frecuencia e intervalo temporal a conmutar y la potencia de salida a utilizar.
5. La MSC pasa esta información a las BSC y BTS antiguas.
6. Al móvil se le ordena cambiar al nuevo TCH.
7. La MS sintoniza a la nueva frecuencia y transmite unas ráfagas de handover en el intervalo temporal indicado.
8. Cuando la nueva BTS detecta las ráfagas de handover, envía información de Timing Advance y de potencia de salida a través del FACCH.
9. La nueva BSC recibe la confirmación de que la BTS ha recibido las ráfagas de handover.
10. La información de que el handover ha sido completado, llega hasta la MSC a través de la nueva BSC. La MSC cambia la ruta en la matriz de conmutación.
11. La MSC envía una orden a la antigua BSC de que libere su TCH.
12. La antigua BSC indica a la antigua BTS que libere el TCH.

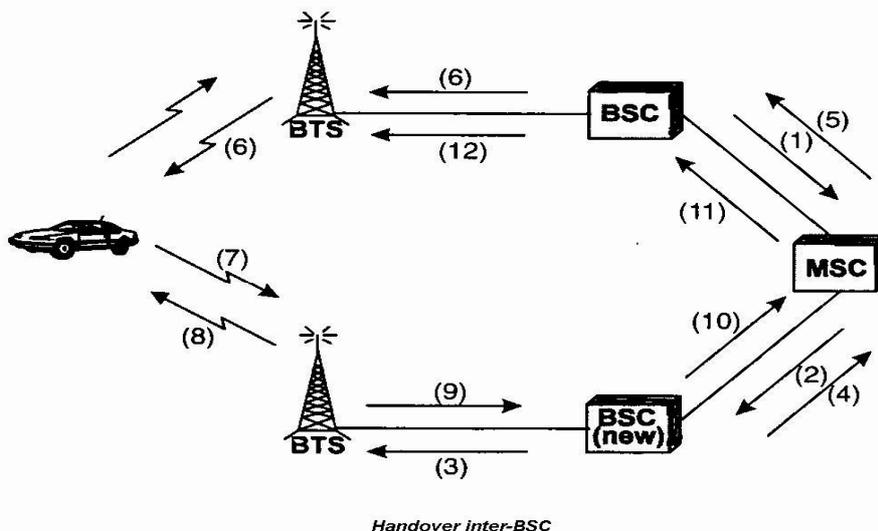


Figura 3.37 . Handover entre celdas controladas por diferentes BSC pero la misma MSC/VLR.

### **3.6.11.3 Handover entre celdas controladas por distintas MSC/VLRs.**

El handover entre células controladas por diferentes MSC/VLRs sólo se puede realizar dentro de un mismo país y dentro de una única red (controlada por un único operador). Esta limitación no obedece a razones técnicas, sino a la falta de acuerdos entre operadores a la hora de determinar quién tarifica cada tramo de la llamada.

Las celdas controladas por distintas MSCs también están controladas por diferentes BSCs.

1. La BSC en servicio envía un mensaje de handover requerido a la MSC en servicio, que contiene la identidad de la célula destino.
2. La MSC-A sabe que esta célula pertenece a otra MSC (MSC-B), puesto que tiene definida la celda como externa y la MSC como vecina, y le solicita ayuda.
3. La MSC-B asigna un número de handover para reenrutar la llamada. A la nueva BSC se envía una solicitud de handover.
4. La nueva BSC ordena a la BTS destino que active un TCH. Si es que tiene uno disponible.
5. La MSC-B recibe la información de la BSC nueva a cerca del TCH .
6. La MSC-B pasa la información recibida a la MSC-A origen.
7. Se establece un enlace de voz (el que existía hasta ahora era de señalización) con la MSC-B, probablemente a través de la red fija conmutada, PSTN.
8. La MSC-A envía una orden de handover a la MS, a través de la antigua BSC, que contiene información de qué frecuencia, intervalo temporal y potencia de salida utilizar.
9. La MS sintoniza a la nueva frecuencia y transmite ráfagas de handover en el intervalo temporal apropiado.
10. Cuando la nueva BTS detecta las ráfagas envía la información de Timing Advance. Toda esta información se transfiere a través del FACCH.
11. La MS envía un mensaje de handover completado a la antigua MSC a través de la nueva BSC y la nueva MSC/VLR.
12. Se establece un nuevo camino en el selector de grupo de la MSC-A y se conmuta la llamada.
13. Se desactiva el antiguo TCH.

La antigua MSC, MSC-A, lleva el control principal de la llamada, hasta que esta se libera. Después de la liberación de la llamada, la MS debe llevar a cabo una actualización de localización ya que un área de localización jamás pertenece a más de una MSC/VLR. El HLR se actualiza con el VLR-B y le indicará al VLR-A que borre toda la información sobre la MS.

Es importante saber que la MSC originaria mantiene el control principal sobre la llamada (tarificación) mientras esta dure. La MSC que da servicio sólo mantiene el control de la parte radio. La comunicación entre las distintas MSC involucradas en una misma llamada también se lleva a cabo a través del protocolo MAP.

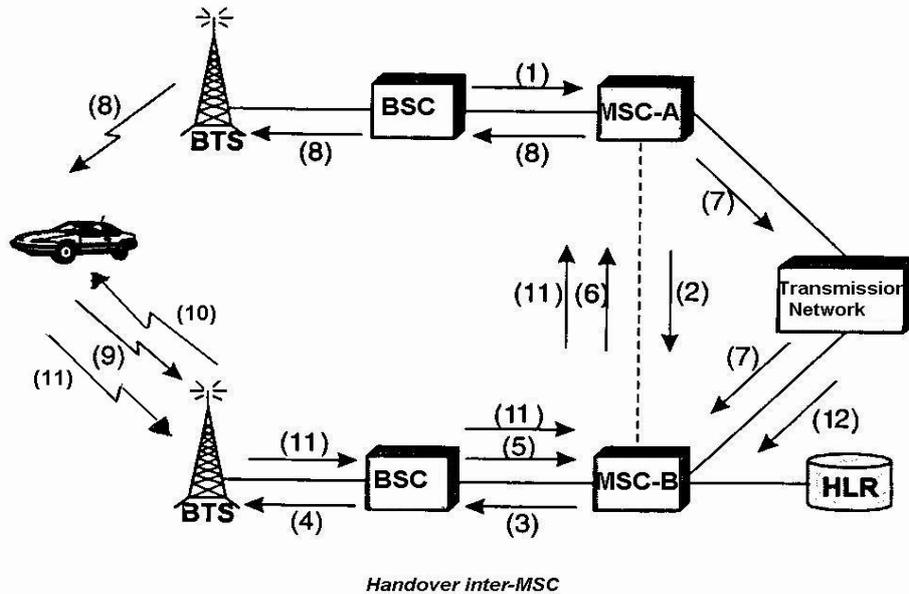


Figura 3.38. Handover entre celdas controladas por distintas MSC/VLRs.

### 3.6.10 ROAMING O FUNCIÓN DE SEGUIMIENTO.

En los sistemas de telecomunicaciones accedidos a través de un enlace fijo, la elección de qué red proporciona el servicio está hecha desde el principio. Cuando se introduce la movilidad, todo cambia. Diferentes servidores pueden proporcionar servicio a un usuario dado, dependiendo de donde esté. Cuando cooperan diferentes operadores de red, pueden usar esta posibilidad para ofrecer a sus abonados un área de cobertura mucho mayor que cualquiera de ellos pudiera ofrecer por sí mismo. A esto es a lo que se llama "roaming", y es una de las características principales de la red GSM.

El roaming se puede proporcionar, sólo si se dan una serie de acuerdos administrativos y técnicos. Desde el punto de vista administrativo, se deben resolver entre los diferentes operadores cosas tales como las tarifas, acuerdos de abonados, etc. La libre circulación de las estaciones móviles también requiere de cuerpos reguladores que convengan el reconocimiento mutuo de los tipos de convenios. Algunas necesidades son una consecuencia de problemas administrativos, como las tarifas de la transferencia de llamadas o la información de los abonados entre las redes. Otras, son técnicas, se necesitan para poder realizar el "roaming", como son la transferencia de los datos de localización entre redes, o la existencia de una interfaz de acceso común. Este último punto es probablemente el más importante. Fuerza a que el usuario deba tener un accesorio simple que lo habilite para acceder a las diferentes redes. Para hacer esto posible, se ha especificado una interfaz de radio común de forma que el usuario pueda acceder a todas las redes con la misma estación móvil.

**3.6.12 FLUJOS DE MENSAJES EN EL SISTEMA BSS.**

***3.6.12.1 Procedimiento de Asignación Inmediata.***

Procedimiento utilizado para crear una conexión de señalización (canal de señalización SDCCH) entre el móvil y la red. Este procedimiento sólo puede ser iniciado por el móvil.

Posibles razones por las que el móvil está pidiendo un SDCCH:

- Llamada de emergencia.
- Reestablecimiento de llamada.
- Respuesta al paging (localización).
- Origen de una llamada de voz.
- Origen de una llamada de datos.
- Actualización de localización.
- Otro procedimientos que pueden ser completados con un SDCCH.

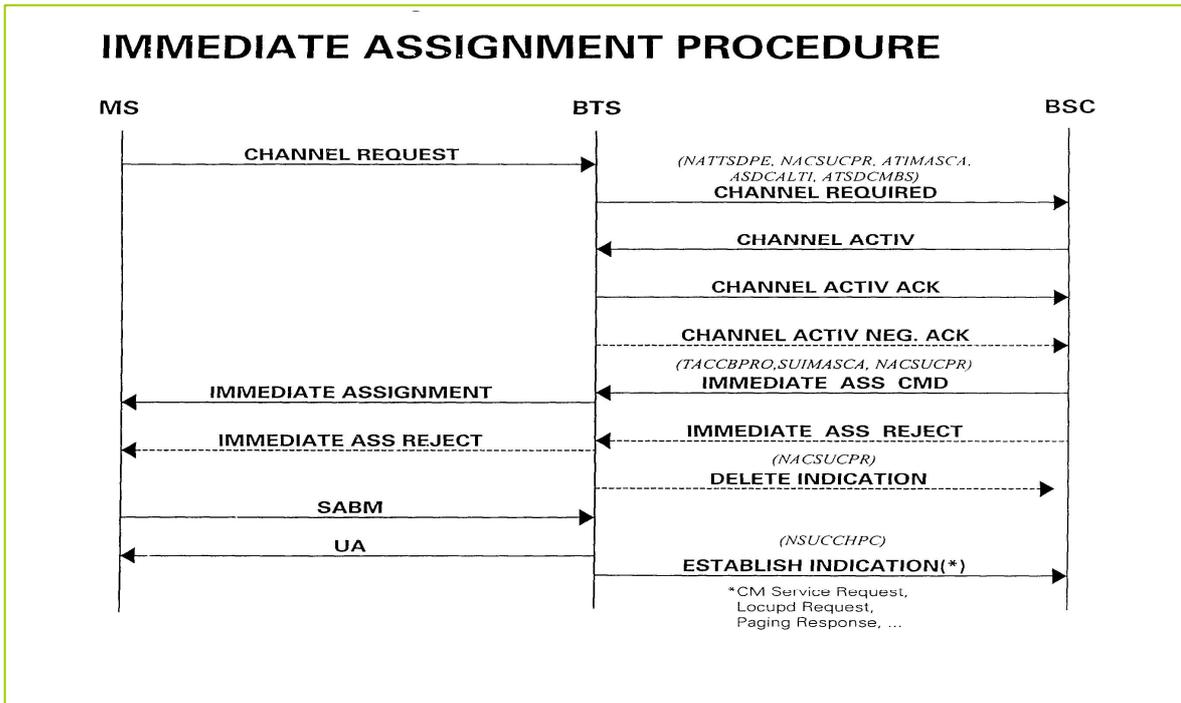


Diagrama 3.39. Procedimiento de Asignación Inmediata.

### 3.6.12.2 Procedimiento de Paging.

Procedimiento mediante el que se informa al móvil que un establecimiento de conexión está siendo solicitado. La MSC le envía a la BSC un mensaje de paging (localización) que contiene la identidad (IMSI o TMSI) y el área de localización del móvil. Este mensaje podrá repetirse tras un cierto tiempo, si no obtuvo respuesta.

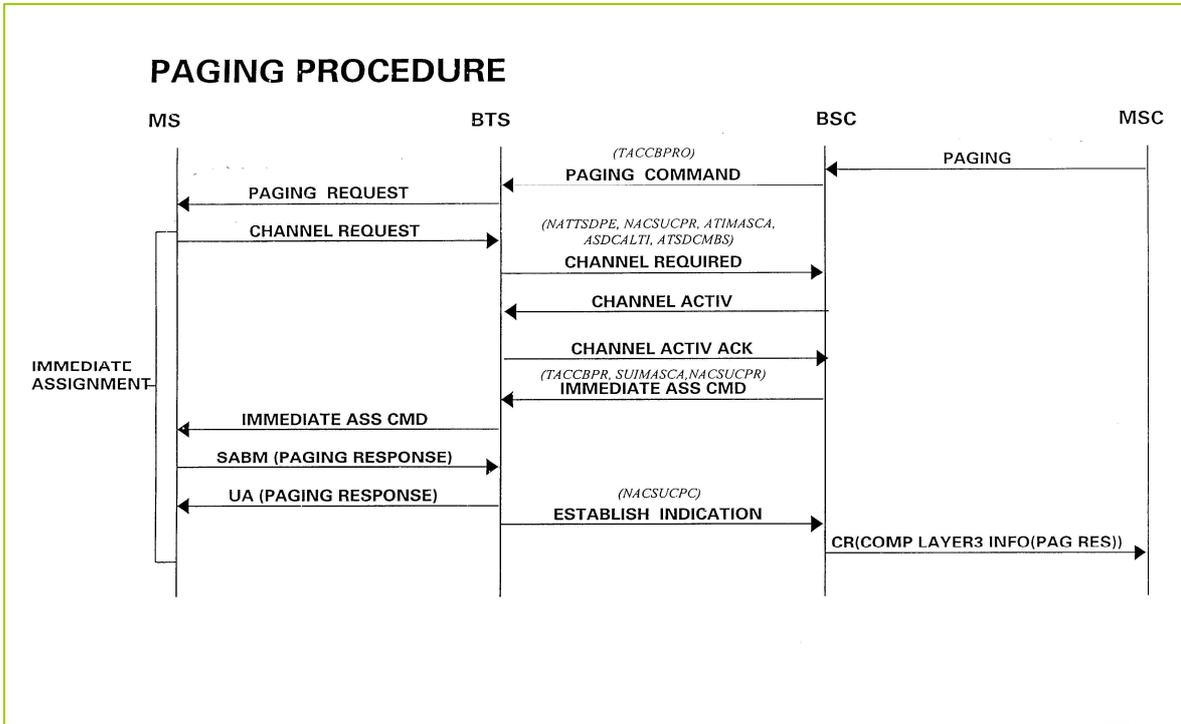


Diagrama 3.40. Procedimiento de Paging.

### 3.6.12.3 Procedimiento de Asignación.

Procedimiento utilizado para ocupar un recurso radio (canal de voz, canal de datos, ...) si se requiere. Es la MSC la que siempre iniciará este procedimiento, salvo en el caso de handover intracelda.

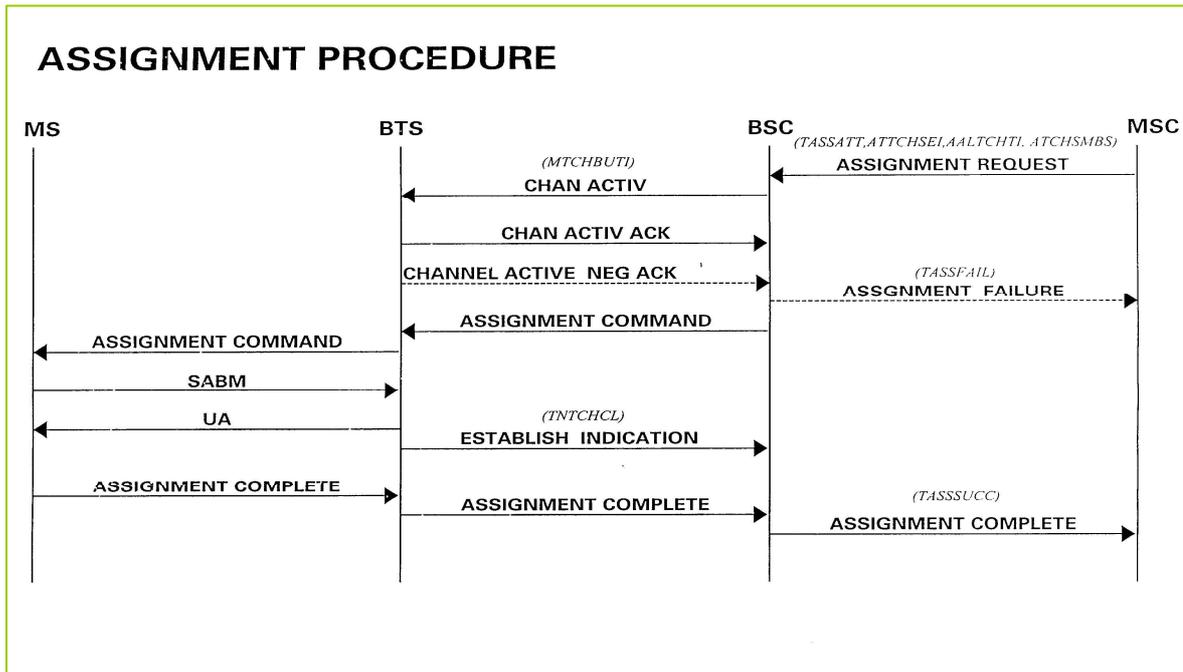


Diagrama 3.41. Procedimiento de Asignación.



**3.6.12.6 Procedimiento de handover intracelda.**

Si la BTS detecta mediante los informes de medidas que recibe periódicamente del móvil (cada 480 ms) que la calidad de la conexión disminuye con un nivel recibido constante, la BTS ordena a la BSC un handover intracelda mediante el mensaje “Intra Cell HO Condition Indication”.

En el procedimiento de handover intracelda se utiliza un temporizador para supervisar la conexión a los canales nuevos, ya que el sistema BSS debe mantener los canales viejos hasta que el móvil haya ocupado los nuevos, manteniendo la posibilidad de que el móvil pueda retornar al canal antiguo.

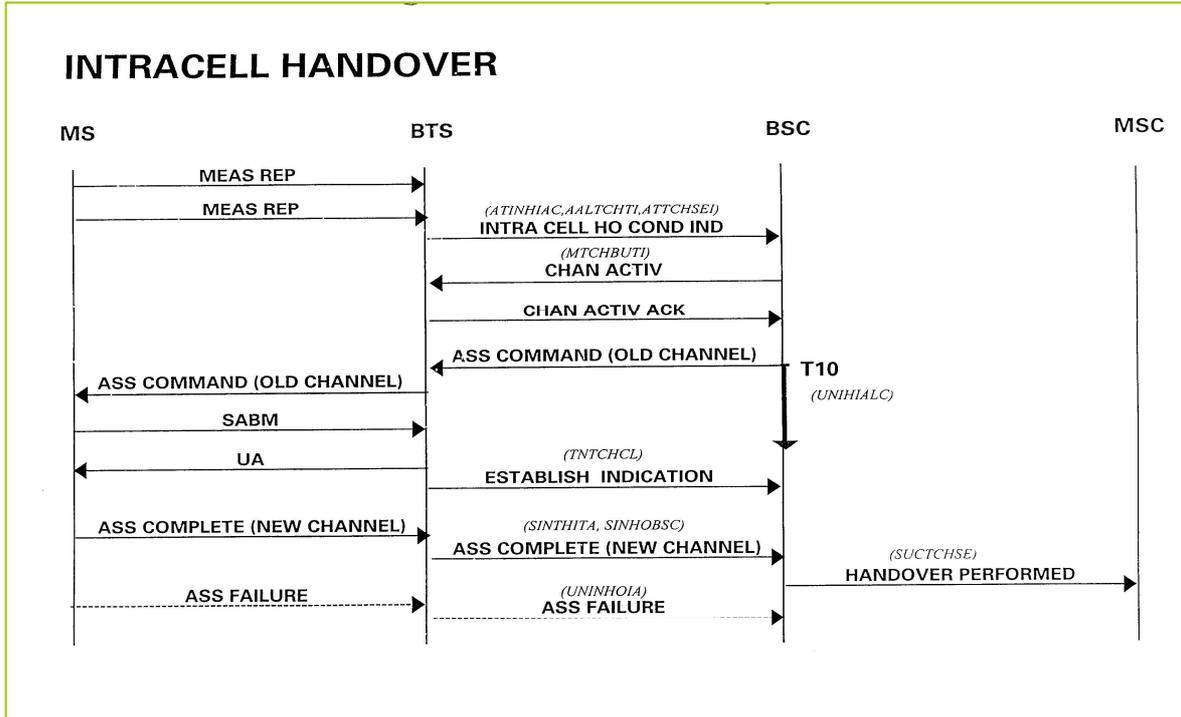


Diagrama 3.43. Procedimiento de handover intracelda.

**3.6.12.7 Procedimiento de handover intercelda.**

Si la BTS detecta mediante los informes de medidas que recibe periódicamente del móvil que los umbrales previamente establecidos para calidad (RxQual), nivel de recepción (RxLev), mejor celda (nivel recibido relativo respecto al recibido de celdas adyacentes) o distancia, han sido alcanzados, la BTS decide hacer un handover, por lo que se lo comunica a la BSC.

La BTS guarda una lista de celdas destino que usará como base para decidir si se necesita un handover intercelda o interBSC. De entre las seis de estas celdas que le lleguen con mejor señal, el móvil seleccionará la mejor, y dependiendo si está o no en la misma BSC, la BTS iniciará un procedimiento de handover intercelda o interBSC.

En el procedimiento de handover intercelda, se utiliza un temporizador para supervisar la conexión a los canales nuevos, ya que el sistema BSS debe mantener los canales viejos hasta que el móvil haya ocupado los nuevos, manteniendo la posibilidad de que el móvil pueda retornar al canal antiguo.

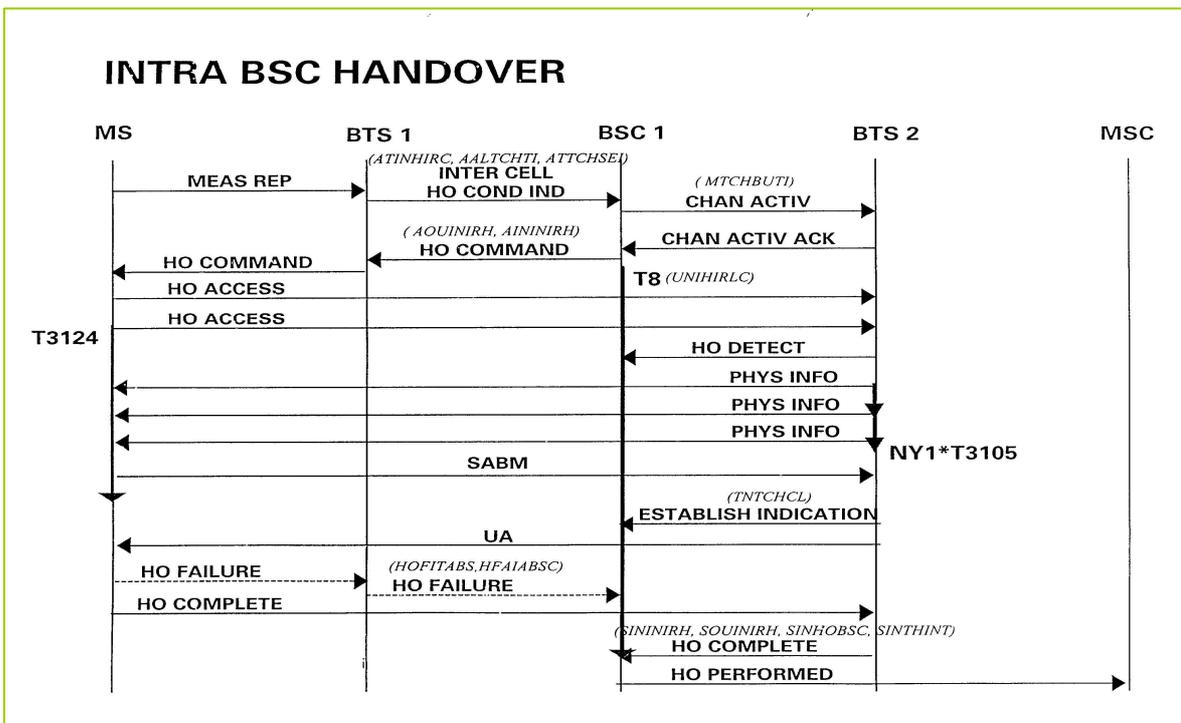


Diagrama 3.44. Procedimiento de handover intercelda.

**3.6.12.8 Procedimiento de handover interBSC.**

Si la BTS detecta mediante los informes de medidas que recibe periódicamente del móvil que los umbrales previamente establecidos para calidad (RxQual), nivel de recepción (RxLev), mejor celda o distancia, han sido alcanzados, la BTS decide hacer un handover, por lo que se lo comunica a la BSC.

La BTS guarda una lista de celdas destino que usará como base para decidir si se necesita un handover intercelda o interBSC. De entre las seis de estas celdas que le lleguen con mejor señal, el móvil seleccionará la mejor, y dependiendo si está o no en la misma BSC, la BTS iniciará un procedimiento de handover intercelda o interBSC. Si la celda está en otra BSC, la BSC origen enviará una petición de handover a la MSC.

Durante el procedimiento de handover interBSC, se supervisarán los canales mediante temporizadores, de igual forma que en el handover intraBSC.

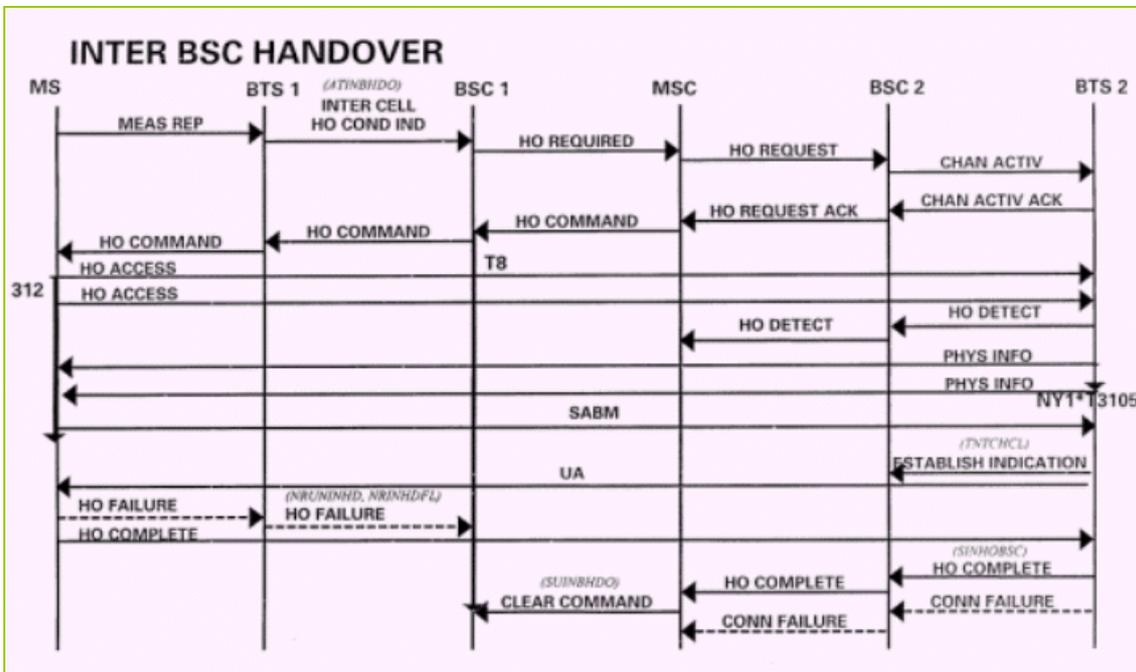


Diagrama 3.45. Procedimiento de handover interBSC.

**3.6.12.9 Procedimiento de retransmisión dirigida.**

Un handover por retransmisión dirigida se realizará en el caso de que no hayan canales de tráfico (TCH) libres tras el establecimiento de la llamada sobre el canal de señalización SDCCH. El canal SDCCH inicial no se abandonará.

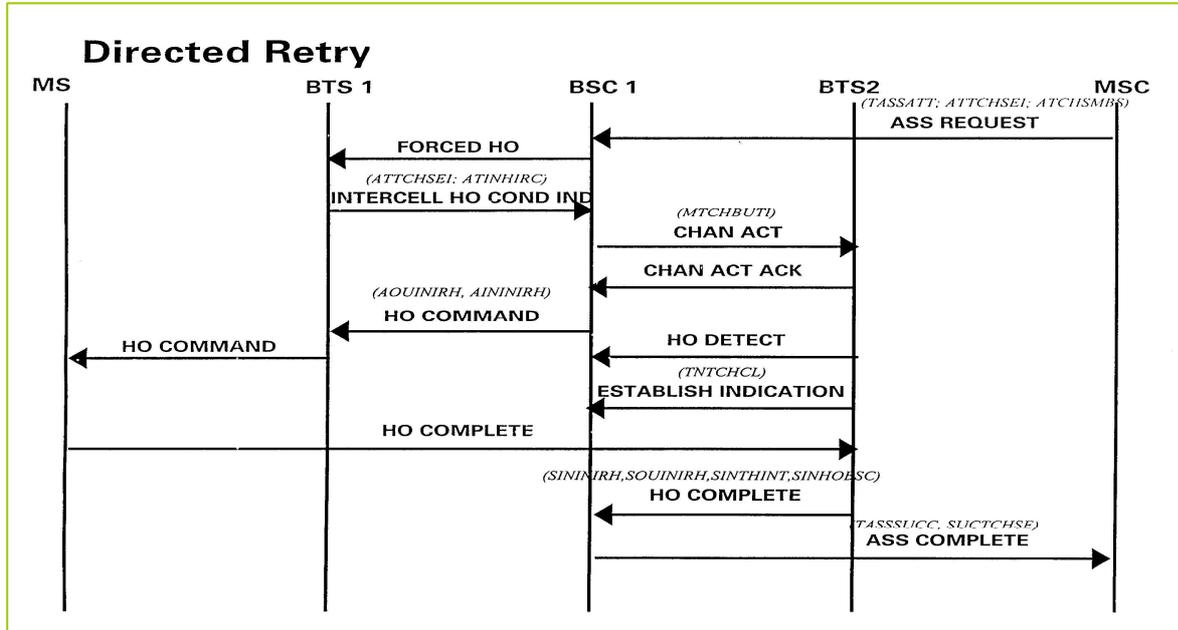


Diagrama 3.46. Procedimiento de retransmisión dirigida.

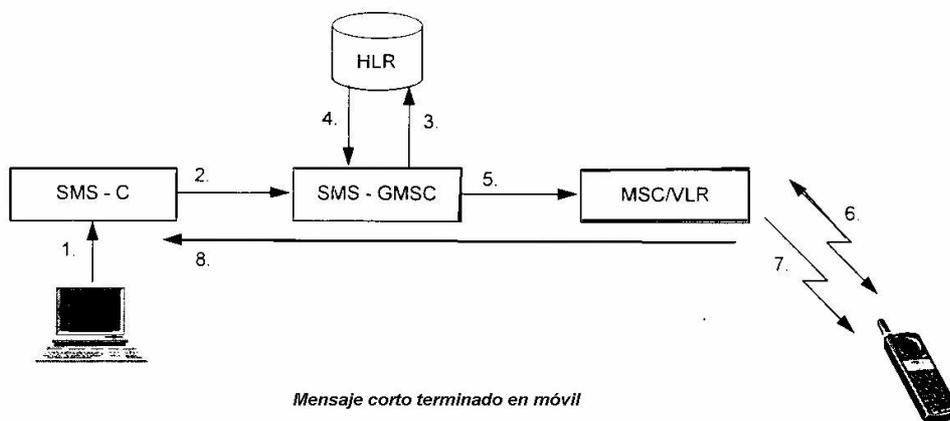
### **3.6.13 SERVICIO DE MENSAJES CORTOS, SMSC.**

El Servicio de Mensajes Cortos (SMS). Proporciona un medio para enviar mensajes de texto de 16 kbits, caracteres alfanuméricos desde o hacia móviles GSM. El SMS utiliza un centro de servicio que actúa como almacén y centro de transmisión de mensajes cortos. Consta de dos servicios básicos: SMS terminado en móvil y SMS originado en móvil. En ambos casos la MS está en modo libre. Si estuviera ocupado, el mensaje se transmitiría por el canal SACCH y no sería necesario realizar ni paging, ni establecimiento de llamada ni autenticación.

#### ***3.6.13.1 SMS terminado en móvil.***

El SMS terminado en móvil tiene la capacidad de transferir un mensaje corto desde un centro de mensajes cortos hasta el terminal móvil. También proporciona información acerca de la entrega del mensaje. Esta información puede ser un mensaje de fallo en la entrega que informa al emisor del mensaje que no fue entregado y por qué razón. Se puede ordenar también la retransmisión. El proceso de envío de un mensaje corto es el siguiente:

1. Un usuario envía un mensaje a un SMS Center.
2. El SMS Center envía el mensaje a la SMS-GMSC.
3. La SMS-GMSC solicita al HLR información de enrutamiento.
4. El HLR devuelve información de enrutamiento a la SMS-GMSC.
5. LA SMS-GMSC reenruta el mensaje a la MSC/VLR.
6. Se localiza la MS y se establece una conexión entre esta y la red (como en el caso de establecimiento de llamada). Si el móvil está ocupado no es necesario este último paso.
7. Si la autenticación se llevó a cabo con éxito, la MSC/VLR le entrega el mensaje a la MS. Los mensajes cortos se envían por el canal de señalización SDCCCH.
8. Si la entrega se realizó con éxito se envía un informe de entrega desde la MSC/VLR al SMS-C. Si no, la MSC/VLR informa al HLR y se envía un informe de fallo al SMS-C.



*Figura 3.47. SMS terminado en el móvil.*

En el caso de que no se haya podido entregar el mensaje, el servicio de mensajes en espera proporciona al HLR y VLR información de que hay un mensaje en el SMS Center esperando para ser entregado a la estación móvil. El HLR contiene la dirección de todos los SMS Centers que han realizado intentos de entrega de mensaje sin éxito. En el VLR un flag indica si la lista está vacía o no. El HLR informa al SMS Center de cuándo la estación móvil está disponible. El SMS terminado en móvil puede ser almacenado en un SMS Center a través de una gran variedad de fuentes: voz, télex o fax.

#### ***3.6.13.2 SMS originado en móvil.***

El SMS originado en móvil transfiere un mensaje corto generado en una MS a un centro de servicio. También proporciona un informe sobre el resultado de la entrega del mensaje. Veamos el proceso:

1. La MS establece una conexión con la red, como en el caso de un establecimiento de llamada normal. Si el móvil está en modo activo, la conexión ya está establecida.
2. Si la autenticación tuvo éxito, la MS envía un mensaje corto al SMS Center a través de la MSC/VLR. El SMS Center envía el mensaje corto hacia su destino. Este podría ser una estación móvil o un terminal de red fija. Los mensajes se envían en el canal SDCCH.

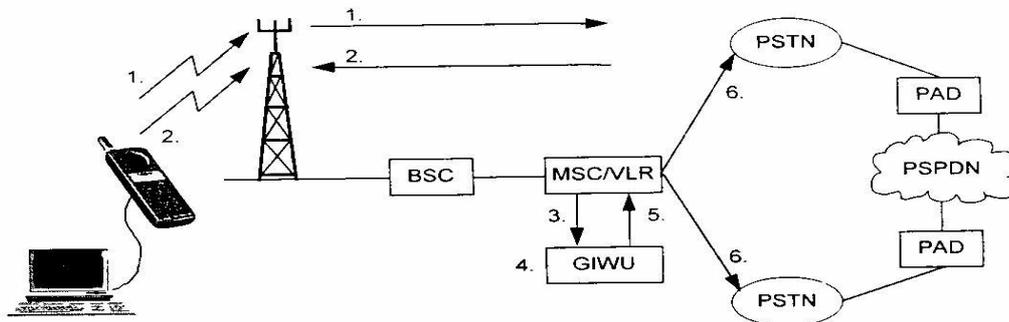
**3.6.13.3 Llamada de datos.**

Cada MSC debe tener dedicado un Interfaz de Transmisión de Datos (DTI Data Transmission Interface) o Unidad de interfuncionamiento GSM (GIWU) para manejar una llamada de datos a través de la red. La MSC controla siempre la llamada de datos y puede asignar recursos a pesar de la movilidad de la estación móvil.

A continuación vemos los pasos necesarios en el establecimiento de un llamada de datos.

1. La MS inicia un llamada de datos. En el mensaje de establecimiento de llamada se incluye la Capacidad de Portadora (BC, Bearer Capabilities). La capacidad de portadora incluye el tipo de servicio portador (fax, datos) y la velocidad de transmisión solicitada. El análisis de la Capacidad de Portadora también tiene lugar en las llamadas de voz, donde se especifica si la transmisión va a ser HR (Half Rate),FR (Full Rate) y EFR (Enhanced Full Rate).
2. Durante el establecimiento de la conexión entre la MS y la red se lleva a cabo el proceso de autenticación.
3. La MSC analiza la capacidad de portadora. El numero B y la BC se transmiten al DTI/GIWU.
4. EL DTI/GIWU se configura para realizar el servicio requerido (adaptación de velocidad, servicio FAX...).
5. El DTI/GIWU reenruta la llamada hacia la MSC.
6. La MSC enruta la llamada hacia la PSTN o ISDN, según el caso.

Dentro de la red todas las conexiones son de circuito conmutado. Esto no significa que se prohíban servicios de conmutación de paquetes. Para acceder a una red pública de datos de conmutación de paquetes (PSPDN) se necesita un ensamblador / desensamblador de paquetes (PAD). El PAD transforma la ráfaga de bits de un terminal asíncrono a paquetes de datos.



*Llamada de datos*

*Figura 3.48. Llamada de datos.*

### 3.7 Interfaces GSM y protocolos del sistema BSS.

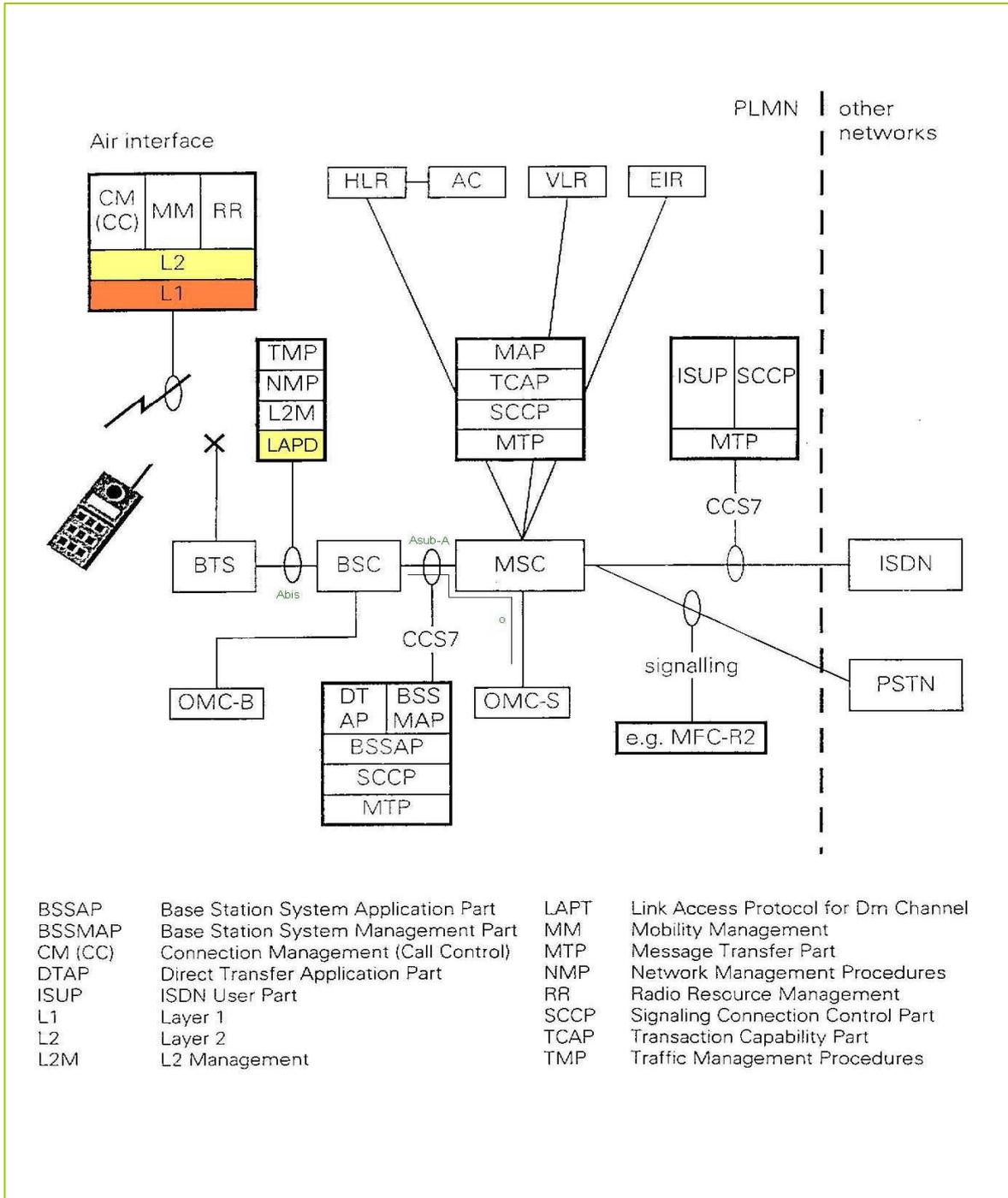


Figura 3.49.. Interfaces del sistema BSS y protocolos.

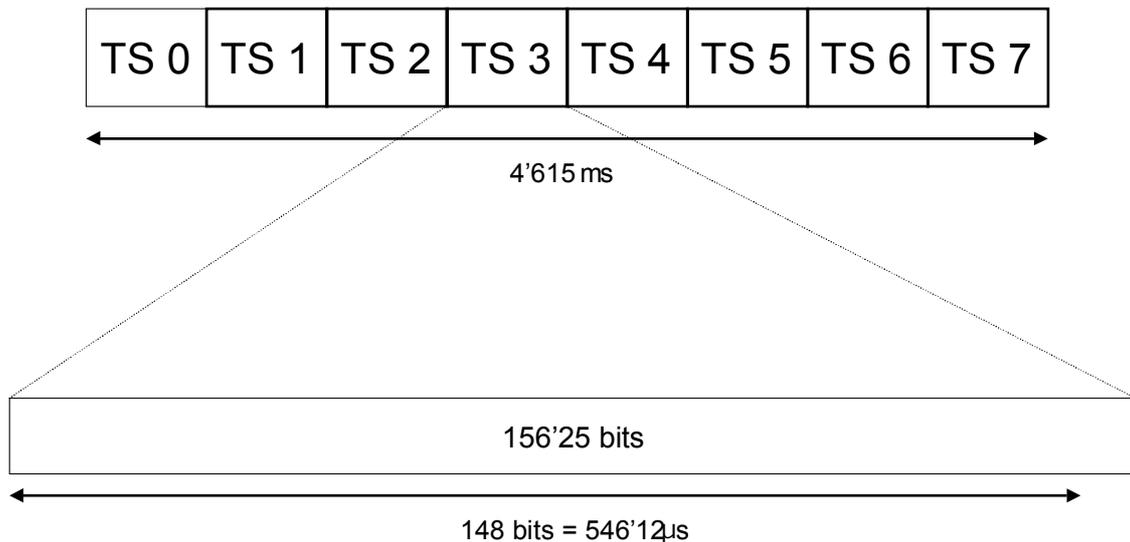
**3.7.1 PROTOCOLOS DEL INTERFACE UM (ENTRE MÓVIL Y BTS).**

El interfaz Um es el interfaz aire entre el móvil y la BTS. Es junto con el interfaz A entre BSC y MSC los únicos totalmente normalizados en GSM.

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

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

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



*Figura 350. Interfaz Um trama física.*

Se llama ráfaga a la secuencia de bits enviada en un intervalo de tiempo. Las ráfagas están constituidas por un núcleo formado por bits de información y la secuencia de entrenamiento, rodeado de bits de cola (“tail bits”). El período comprendido entre dos ráfagas que aparecen en TS consecutivos de una trama se denomina período de guarda. Este período es necesario ya que el móvil no es capaz de incrementar y decrementar su potencia de salida de forma instantánea. En este período de guarda, el móvil puede completar sus rampas de subida y bajada de potencia transmitida. Por otra parte, gracias a este período de guarda se minimizan las colisiones parciales que, a causa del efecto de los multitrayectos, podrían producirse entre las ráfagas que llegan a la estación base procedentes de las estaciones móviles que utilizan los distintos intervalos de la misma portadora.

Una característica de las ráfagas es su duración útil. Hay cuatro tipos de ráfagas completas de 147 bits de duración útil y una corta de acceso de 87 bits de duración útil.

- **Ráfagas de acceso, AB, (Access Burst).** Se emplean por el móvil para acceder a una estación base cuando demanda un canal de la misma. Se transmiten únicamente en el enlace ascendente, UL. La secuencia de entrenamiento y la secuencia de cola inicial son más largas que en una ráfaga normal, para aumentar la probabilidad de éxito de la demodulación. Hay que tener en cuenta que el receptor no conoce “a priori” el nivel con el que va a llegar esta ráfaga, ni el error de frecuencia, ni el momento de recepción.
- **Ráfagas de corrección de frecuencia, FB, (Frequency correction Burst).** Estas ráfagas únicamente se utilizan en el enlace descendente, DL. A través de estas ráfagas el móvil realiza un ajuste fino de la frecuencia de sintonía. Son ráfagas largas que permiten a los móviles encontrar y demodular una ráfaga SB de la misma celda. Es la ráfaga más simple de todas. Sus 148 bits toman el valor “0”, de forma que, con la técnica de modulación empleada, la señal resultante es una portadora sin modular con frecuencia 1625/24 KHz mayor que la frecuencia nominal de la portadora utilizada.
- **Ráfagas de sincronización, SB, (Synchronization Burst).** Estas ráfagas, utilizadas únicamente en el enlace descendente, tienen por finalidad posibilitar la sincronización del reloj de la estación móvil con el de la estación base y determinar la situación dentro de la trama temporal. De esta forma puede iniciarse el proceso de demodulación de la información transmitida en el enlace descendente.
- **Ráfagas de relleno, DB, (Dummy Burst).** Son las ráfagas que se radian cuando no hay información que transmitir. La portadora que lleva la información de BBCH tiene que radiarse constantemente. Es la señal “piloto” que los móviles necesitan estar recibiendo constantemente para poder hacer medidas de potencia.
- **Ráfagas normales, NB, (Normal Burst).** Estas ráfagas se utilizan tanto en el UL como en el DL. Llevan información de tráfico o canales de control. Su estructura básica es la siguiente: unos bits que componen la secuencia de entrenamiento del ecualizador situados en el centro de la ráfaga, dos campos de bits de información situados a ambos lados de la secuencia de entrenamiento y los bits de cola.

- Ráfaga de Corrección de frecuencia: Tono puro de la frecuencia de transmisión.

T 3 bits	Secuencia Todo “0” 142 bits	T 3 bits	GP 8’25 bits
-------------	--------------------------------	-------------	-----------------

- Ráfaga de Sincronización:

T 3 bits	Secuencia de bits fija 142 bits	T 3 bits	GP 8’25 bits
-------------	------------------------------------	-------------	-----------------

- Ráfaga Normal o de relleno (los datos son secuencias de 1 y 0 predefinidas):

T 3 bits	Datos Codificados 57 bits	S 1 bit	Secuencia de entrenamiento 26 bits	S 1 bit	Datos Codificados 57 bits	T 3 bits	GP 8’25 bits
-------------	------------------------------	------------	---------------------------------------	------------	------------------------------	-------------	-----------------

- Ráfaga de Acceso Aleatorio:

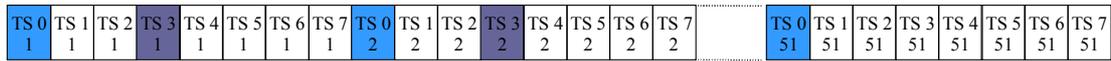
T 8 bits	Secuencia de sincronización 41 bits	Datos Codificados 36 bits	T 3 bits	GP 68’25 bits
-------------	--	------------------------------	-------------	------------------

Figura 3.51. Interfaz Um. Ráfagas de acceso.

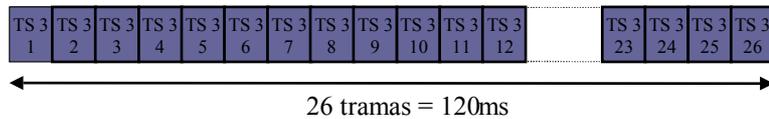
Estudiaremos este interfaz subdividiéndolo en tres capas.

**3.7.1.1 Capa 1.**

Es el nivel físico, y esta constituido por los canales. Transmite 8 canales físicos de mensaje sobre un transreceptor (TRX) mediante TDMA, por los que se mapean los canales lógicos.



- Canales de tráfico: multitrama de 26. Un Time Slot de tráfico se repite cada 26 tramas.



- Canales de señalización: multitrama de 51. Un Time Slot de señalización se repite cada 51 tramas.

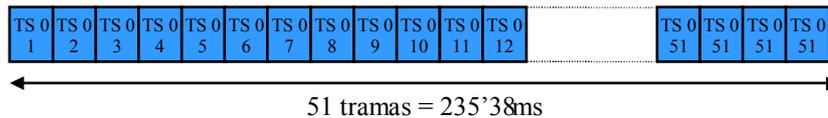


Figura 3.52. Multiplexado de canales lógicos.

De acuerdo con la información transportada, se definen dos tipos de canales lógicos:

- Canales de control.
- Canales de tráfico.

Los **canales de tráfico** (TCHs) se utilizan exclusivamente para transportar la información del usuario. Son los que se utilizan para la transmisión de la voz:

- **Full rate TCH (TCH/F).** Estos canales transportan información a 22.8 kbits/s. Cada conversación equivale a un Time Slot.
- **Enhanced full rate TCH (TCH/E).** Un Time Slot equivale a una conversación con calidad mejorada.
- **Half rate TCH (TCH/H).** Estos canales llevan información a 11.4 Kbit/s. Por un Time Slot se transmiten dos conversaciones no al mismo tiempo. Se aumenta la capacidad y disminuye la calidad.

El uso principal de los **canales de control** es transferir la información de señalización. Se dividen en tres categorías:

- Broadcast Channels, BCH o canales de difusión.
- Common Control Channels, CCCH o canales de control común
- Dedicated Control Channels, DCCH o canales dedicados.



### **Broadcast Channels, BCH o canales de difusión.**

Estos canales tienen sentido descendente desde la estación base a los móviles y son canales de difusión, la estación base manda un mensaje general, que leen todos los móviles que pasan por su zona de cobertura. Existen cuatro tipos de Broadcast Channel:

- **Frequency Correction Channel o canal de corrección de frecuencia (FCCH).** No manda ninguna información, únicamente la frecuencia de la estación base para que se sincronicen los móviles a dicha frecuencia.
- **Synchronization Channel (SCH) o canal de sincronización.** El móvil necesita sincronizar sus tiempos dentro de la celda en la que está, y asegurarse de que está recibiendo información de una célula GSM. Estas dos informaciones, las envía la estación base a través de ese canal.
- **Broadcast Control Channel (BCCH) o canal de control de difusión.** Este canal envía información general relativa a la celda, que es necesaria para recibir o realizar llamadas. Entre la información que se envía está el "Location Area identity" (LAI), la máxima potencia de salida permitida y la frecuencia de las celdas vecinas, que se utiliza para orientar al móvil en la red de radio. Es un canal unidireccional en sentido red a móvil.
- **Cell Broadcast Channel (CBCH) o canal de difusión de celda.** Se utiliza únicamente en sentido descendente para enviar mensajes cortos. Utiliza el mismo canal físico que el SDCCH. Canal de difusión de mensajes específicos de cada operador. Por ejemplo, tipo de tarifa.

### **Common Control Channels, CCCH o canales de control común.**

Como su nombre indica, aquí están todos los canales de control común, que se utilizan para la comunicación entre la estación base y el móvil, pero no son exclusivos para cada uno de los móviles. Según sus funciones, existen cuatro tipos:

- **El Canal de Búsqueda (PCH, Paging Channel)** es un canal unidireccional, en sentido red a móvil, que se utiliza para "buscar" al móvil (llamadas terminadas). Cada cierto tiempo, el móvil escucha el canal de Paging para comprobar si la red quiere contactar con él. La red intenta contactar con el móvil cuando este tiene una llamada o un mensaje corto entrante. El mensaje de Paging incluye la identificación del número IMSI o una identidad temporal TMSI. Este canal siempre va desde la estación base hacia el móvil.
- **El Canal de Acceso Aleatorio (RACH, Random Access Channel)** es un canal unidireccional, con sentido móvil a red, que es utilizado por las estaciones móviles para acceder a dicha red. El móvil escucha el canal de Paging para localizar cuando se quieren poner en contacto con él. Cuando el móvil ha recibido un mensaje de Paging, contesta pidiendo un canal de señalización en el RACH. Este canal también se utiliza si el móvil quiere contactar con la red, por ejemplo cuando se intenta establecer una llamada. Este canal siempre va desde el móvil hacia la estación base.

- **El Canal de Acceso Garantizado (AGCH, Access Grant Channel)** es un canal unidireccional en sentido red a móvil, utilizado por la red para asignar un canal dedicado de control tras un acceso aleatorio con éxito. La red asigna un canal de señalización al móvil (Stand Alone Dedicated Control Channel, SDCCCH). Esta asignación de canal se hace a través del AGCH. El AGCH siempre va desde la estación base hacia el móvil.

#### **Dedicated Control Channels o canales de control dedicados, DCCH.**

Estos canales son los que se utilizan de forma exclusiva para la comunicación entre un móvil y una estación base. Los canales de control dedicados se asignan a una única estación móvil para comunicación punto a punto con la red. Pueden ser canales de control autónomos (stand-alone control channels) o asociados a otro canal dedicado. Los canales definidos son:

- **El Canal de Control Dedicado Autónomo (SDCCCH, Stand-alone Dedicated Control Channel)**, es un canal de control independiente. El móvil y la estación base se comunican finalmente a través del SDCCCH. El establecimiento de llamada se realiza a través del SDCCCH, así como la transmisión de mensajes de texto (mensajes cortos). Este canal es bidireccional.
- **El Canal de Control Asociado Lento (SACCH, Slow Associated Control Channel)**, siempre asociado a un canal de tráfico (TCH, Traffic Channel), puede ir en el mismo canal físico o un SDCCCH. Se utiliza en particular para transmitir información variable de las condiciones del interfaz radio, por ejemplo, control de potencia, medida de calidad, etc.. El móvil envía a su propia estación base y a las celdas vecinas parámetros de calidad. En sentido descendente el móvil recibe información sobre la potencia transmitida y sobre el “timing advance”. Este canal es bidireccional.
- **El Canal de Control Asociado Rápido (FACCH, Fast Associated Control Channel)** se asocia a un canal de tráfico. Se consigue “robando” tramas, que se identifican por un “flag”. Si es necesario hacer un handover se utiliza este canal. Uno de cada 20 ms de conversación se utiliza para enviar la señalización necesaria para el handover. El usuario no percibe esta interrupción del canal de voz porque el “coder” repite ese bloque de voz.

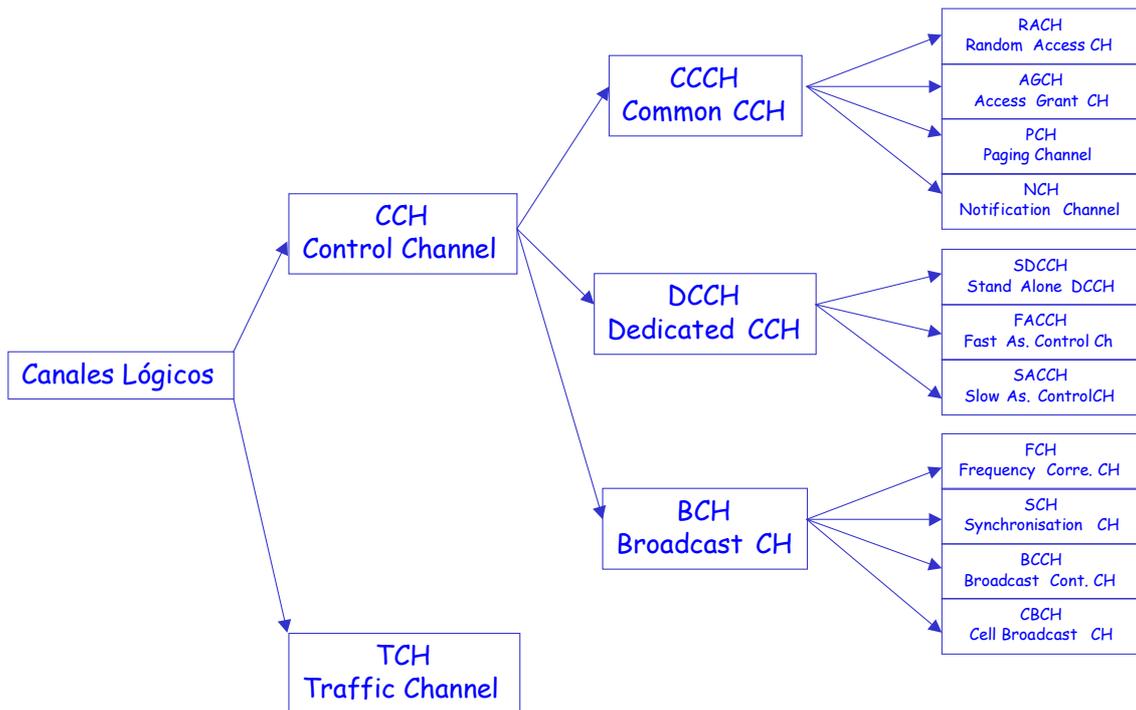


Figura 3.53. Tipos de canales lógicos en el interfaz Um.

### 3.7.1.2 Capa 2.

Transporta información entre entidades de capa 3 a través del interfaz radio GSM usando el canal Dm (Link Access Procedure on DM, LAPDm). Es usada por todos los canales sobre el interfaz aire salvo SCH, FCCH y TCH.

Su función, entre otras, es la multiplexación / demultiplexación de canal y el manejo de conexiones de capa 2, así como la corrección de errores y el control de flujo.

### 3.7.1.3 Capa 3.

Compuesta de tres subcapas, que realizan funciones de gestión de los recursos radio (RR), gestión de la movilidad (MM) y gestión de la conexión (CM).

- **Subcapa de gestión de los recursos radio (RR).** Intercambia mensajes de gestión de los recursos radio entre móvil y BTS/BSC, muchos de ellos transportados sobre el interfaz Abis, dentro del RSL/DTAP, hacia la BSC. Realiza funciones de gestión de los recursos de transmisión comunes. Su función principal es establecer, mantener y liberar las conexiones entre recursos radio que permitan un diálogo punto a punto entre la red y el móvil. Esto incluye la selección/reselección de celda y los procedimientos de handover. Además, los procedimientos de gestión de los recursos radio incluyen la recepción del BCCH y CCCH unidireccional cuando no hay conexión entre recursos radio establecida, lo que permiten la selección/reselección automática de celda.

- **Subcapa de gestión de la movilidad (MM).** Intercambia mensajes entre móvil y MSC, sin influencias del subsistema BSS. Estos mensajes son transportados sobre los interfaces Abis y A, dentro del RSL/DTAP y DTAP hacia la BSC. La función principal de la capa de gestión de movilidad es soportar la movilidad de los terminales de usuario, así como informar a la red de su localización, y proporcionar confidencialidad de la identidad del usuario. Una función posterior es proporcionar servicios de gestión de la conexión a las diferentes entidades de la subcapa superior de gestión de la conexión (CM). Todos los procedimientos MM se podrán llevar a cabo sólo si una conexión RR ha sido establecida entre el móvil y la red.
- **Subcapa de gestión de la conexión (CM).** Intercambia mensajes entre el móvil y la MSC, y se compone de tres partes : Control de llamada (CC), soporte al servicio de mensajes cortos (SMS) y soporte a los servicios suplementarios (SS). Todo móvil deberá soportar el protocolo de control de llamada.

### **3.7.2 PROTOCOLOS DEL INTERFACE ABIS (ENTRE BTS Y BSC).**

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

#### **3.7.2.1 Capa 1.**

El interface Abis es físicamente un sistema PCM (pulse code modulation) o MIC (modulación de impulsos codificados) de 2 MB/s con subcanales de 16 Kb/s, que pueden usarse para señalización y para voz. Las informaciones de 16 Kb/s de voz en la TRAU se transformarán en 64 Kb/s. A la trama PCM se le denomina PCMB entre la BSC y la BTS.

Respecto a los canales de comunicación, en la interfaz A-bis existen dos tipos:

- **Canales de tráfico, SDC (Speech and Data Channel).** Pueden tener velocidades de 8, 16 ó 64 kbit/s y llevan la voz o los datos correspondientes a un canal radio de tráfico.
- **Canales de señalización, SC (Signalling Channel).** Tienen velocidades de 16, 32 ó 64 kbit/s para transportar la información de señalización tanto entre móvil y BSC, como entre BTS y BSC.

#### **3.7.2.2 Capa 2.**

Link Access Protocol D-Channel (LAPD) o protocolo de conexión de la capa de enlace de datos en redes orientadas a paquetes. Transporta información entre entidades de capa 3 a través del Abis. Los mensajes que se intercambian van dirigidos a un determinado equipo (TRX o BTS) para realizar una función específica. Cada mensaje LAPD, en su campo de direccionamiento lleva definido el equipo al que va dirigido y el tipo de función a realizar.

#### **3.7.2.3 Capa 3.**

Es responsable de la activación, supervisión y liberación de conexiones. Sus funciones principales son los procedimientos de gestión de red (NMP), la gestión de la capa 2 (L2M) y los procedimientos de gestión de tráfico (TMP).

El interface Abis soporta la transmisión de mensajes de gestión de red utilizando el enlace O&M. Dicho transporte se realiza mediante LAPD. El LAPDm incluye información de operación y mantenimiento, se incluye uno por estación.

El enlace de gestión de capa 2 se usa para la transmisión de mensajes de capa 2 entre BSC y TRX (alarmas, ...). El LAPDr incluye información de establecimiento de llamada, y se incluye uno por TRX. Tanto el LAPDm con el LAPDr se insertan en el mismo time slot, su posición dependerá del fabricante.

Entre los procedimientos de gestión de tráfico tenemos las siguientes funciones:

- Funciones de gestión de recursos radio (RR).
- Funciones de gestión de la movilidad (MM).
- Funciones de gestión de la conexión (CM).
- Gestión de la capa de enlace de señalización radio (responsable de la conexión, soporte y liberación de las conexiones de capa 2 radio).
- Gestión del canal dedicado (para uso de los DCCH's y para activación de canal, detección de handover, cifrado, control de potencia).
- Gestión del canal común (para uso de los procedimientos de acceso aleatorio, CCCH, asignación inmediata, paging o difusión).
- Gestión de TRX (para transferencia de información entre TRX y BSC).

### **3.7.3 PROTOCOLOS DEL INTERFACE A (ENTRE BSC Y MSC).**

Se trata del interface entre BSC y MSC, tanto para señalización como para canales de tráfico. A la trama PCM se le denomina PCMS entre la BSC y la TRAU y PCMA entre la TRAU y la MSC.

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

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

### **3.7.4 INTERFAZ B (VLR Y MSC ASOCIADOS).**

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

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

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

### **3.7.5 INTERFAZ C (HLR-GMSC).**

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

### **3.7.6 INTERFAZ D (HLR-VLR).**

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

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

### **3.7.7 INTERFAZ E (MSC-MSC).**

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

### **3.7.8 INTERFAZ F (MSC-EIR).**

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

### **3.7.9 INTERFAZ G (VLR-VLR).**

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

### **3.7.10 INTERFAZ H (HLR-AuC).**

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

## 3.8 Señalización de red (NSS).

Se entiende por señalización la transferencia de información y de instrucciones relevantes para controlar y supervisar las conexiones telefónicas. En GSM toda la señalización utilizada es por canal asociado según las especificaciones CCITT SS7. A través de la señalización los diferentes nodos se intercambian mensajes de control para gestionar la llamada. Estas señales que se intercambian son paquetes de datos.

### 3.8.1 CONCEPTOS GENERALES DE SEÑALIZACIÓN.

En el contexto de telefonía, señalar implica la transferencia de información e instrucciones relevantes para el control y supervisión de conexiones telefónicas.

Tradicionalmente la señalización se ha dividido básicamente en dos tipos:

- **Señalización del bucle de abonado.** Es decir, señalización entre el terminal telefónico del abonado y la central local.
- **Señalización entre centrales.** Es la señalización que nos va a ocupar. Esta señalización se transporta normalmente en uno de los TS de un enlace PCM, ya sea en asociación con un canal de voz o de forma independiente. Así, distinguimos dos tipos de señalización entre centrales:

#### *3.8.1.1 CAS (Señalización por Canal Asociado).*

En este tipo de señalización podemos hacer otro tipo de división:

- **En Banda.** La información de señalización se incluye en el mismo canal de voz.
- **Fuera de Banda.** Para la señalización se usa otro canal asociado al canal de voz. Este tipo de sistemas tiene una asociación fija entre el canal de señalización y los canales de voz a los que está señalizando. Además, la voz (o datos) y la señalización siempre siguen el mismo camino físico a través de la red. Un TS, el 16, señala los 30 canales de un enlace PCM.

Recalcar que este sistema de señalización está dejando de ser utilizado.

#### *3.8.1.2 CCS (Señalización por Canal Común).*

En este caso, un canal dedicado, completamente independiente y separado del canal de voz se usa para la señalización. Debido a la gran capacidad, un solo canal de señalización en CCS puede dar servicio a gran número de canales de voz, no sólo a los que se encuentran en el mismo enlace físico PCM. Además, la ruta física que sigue el canal de señalización no tiene por qué coincidir con la ruta de voz y datos. El sistema de señalización CCITT nº 7 pertenece a este tipo y es en el que nos centraremos a continuación. En una red GSM se utilizan los siguientes protocolos de señalización entre los diferentes nodos:

- MAP
- BSSAP
- ISUP
- INAP

### **3.8.2 MAP**

Mobile Application Part, MAP, es un protocolo especialmente diseñado para los requerimientos GSM. MAP provee los procedimientos de señalización necesarios para el intercambio de información entre las entidades de red GSM. Usa el sistema de señalización por canal común para la transferencia de información e interfaces TCAP en la arquitectura CCITT SS7. Este protocolo está instalado en MSC, VLR, HLR, EIR y AUC de manera que estos nodos se comunican en caso de:

- Registro de localización
- Cancelación de registro
- Manejo/Gestión/Obtención de servicios de usuario
- Handover
- Transferencia de datos de autenticación.

### **3.8.3 BSSAP**

Para la señalización MSC-BSC, GSM utiliza el protocolo BSSAP (Base Station Application Part ). Este protocolo fue especialmente desarrollado para el interface A. No solamente soporta mensajes de señalización entre la MSC y la BSC, sino también entre la MSC y la MS. Por esta razón se distinguen tres tipos de mensajes BSSAP.

- Mensajes DTAP (Direct Transfer Application Part).
- Mensajes Initial MS.
- Mensajes BSSMAP (Base Station Management Application Part).

#### ***3.8.3.1 Mensajes DTAP***

Los mensajes DTAP (entre la MSC y la MS ) pasan a través del sistema de BSS transparentemente. Estos son mensajes de control y de gestión de movilidad dirigidos a una MS específica.

#### ***3.8.3.2 Mensajes Initial MS***

Los mensajes Initial MS no son modificados cuando pasan a través de BSS. Sin embargo, el subsistema BSS analiza y añade información al mensaje. Por ello, no podemos decir que sean completamente transparentes al BSS como los mensajes DTAP.

Cuando una MS hace una petición de servicio, la BSC añade el CGI (Cell Global Identity) al mensaje Initial. Este CGI se usa para que la MSC tenga información del tipo de tarifa que se debe aplicar a la celda en cuestión y para el enrutamiento de llamadas de emergencia. Estos mensajes se envían en modo orientado a conexión.

#### ***3.8.3.3 Mensajes BSSMAP***

Los mensajes BSSMAP circulan entre la BSC y la MSC. Son necesarios para la gestión y control de recursos, handovers, órdenes de paging, etc. BSSMAP usa los servicios orientados a conexión y los no orientados.

En general, los mensajes usados para soportar procedimientos dedicados (handovers, mensajes inicial MS,..) se envían en modo orientado a conexión. Los mensajes destinados a soportar procedimientos más globales (los concernientes a la gestión del sistema BSS ) son enviados en modo no orientado a conexión.

### 3.8.4 ISUP

ISUP gestiona la señalización entre centrales para el manejo de los servicios básicos y suplementarios de RDSI. Además incluye una serie de funciones para la gestión de circuitos. ISUP soporta los siguientes servicios:

- Servicios básicos: Voz, fax y datos
- Servicios suplementarios: Transferencia de llamada, llamada en espera, identidad del llamante, grupo cerrado de usuarios, conferencia, señalización usuario a usuario.

### 3.8.5 INAP

Este protocolo se utiliza para la comunicación de las MSCs con los nodos de red inteligente.

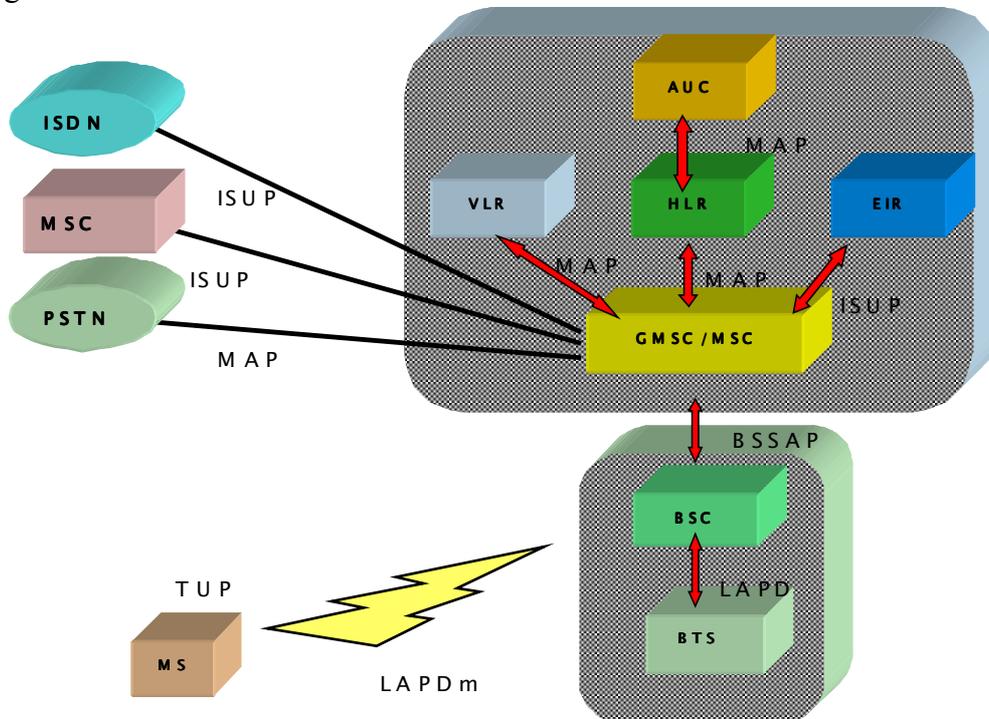


Figura 3.54 . Señalización en GSM.

### **3.8.6 USSD (UNSTRUCTURED SUPPLEMENTARY SERVICES DATA).**

USSD permite que un abonado móvil solicite y controle servicios suplementarios, que no están soportados por los terminales por no tener implementada la señalización requerida. Frente a estos servicios, tenemos los Servicios Suplementarios (SS) que sí que están especificados por estándares cuyos protocolos aparecen implementados en los terminales. Un ejemplo de SS es el desvío de llamada.

USSD necesita un protocolo que nos permita transportar los datos hasta una aplicación que sea capaz de analizarlos y actuar según el servicio solicitado. Normalmente la respuesta del sistema viene en forma de un string de texto, aunque se pueden utilizar mensajes cortos, por lo que se debe interactuar con nodos SMSC. Dependiendo del servicio invocado, la petición se envía a una aplicación localizada en el VLR o en el HLR. En el último caso la petición se envía a un nodo externo que será el encargado de procesarla.

Los **códigos de servicio** se crean para diferenciar entre operaciones USSD independientes o relacionadas con una llamada.

- Las independientes se usan cuando no hay llamada en curso y permiten que el usuario obtenga información.
- Las operaciones USSD relacionadas con una llamada se realizan sin interrumpir la conversación. Estos códigos de servicio deben seguir el formato dXc#, donde:

d=1, 2 ó 3 caracteres del conjunto {\*, #}. Esta parte es obligatoria

X= 2 o 3 caracteres decimales del 0 al 9. X también es obligatorio.

c= \* junto a un máximo de 10 caracteres del 0 al 9. Esta parte es opcional.

Un ejemplo conocido de código de servicio es el de consulta de saldo: \*111#

Los **códigos de procedimiento** se utilizan para identificar una operación relacionada con una llamada. Estos códigos se forman con uno o dos caracteres del 0 al 9 y no pueden usarse en operaciones USSD independientes, como es lógico.

## **3.9 Tarificación.**

El proceso de facturación comienza cuando la información relativa a las llamadas efectuadas o recibidas por el cliente, se introduce en el sistema informático de la red para su posterior recuperación y procesamiento dentro del ciclo de facturación.

Este proceso consta de varias fases:

- Registro de los datos relativos a las llamadas.
- Transferencia de los datos de las llamadas.
- Recogida y procesamiento de datos.

### **3.9.1 REGISTRO DE LOS DATOS RELATIVOS A LAS LLAMADAS.**

Cuando un usuario efectúa una llamada con origen o destino en un teléfono móvil, la central genera automáticamente un registro de llamada. En este registro viene toda la información de la llamada: N°A, N°B, fecha y hora de comienzo de la llamada, duración, área de localización desde donde se realiza la llamada, IMSI.

El registro de tarificación siempre se genera en la central donde comienza la llamada, y aunque posteriormente el abonado se desplace y esté en la zona de cobertura de otra central, el registro se seguirá originando en la primera central.

En las llamadas de larga duración se generan varios registros para que en el caso de que haya problemas no se pierda toda la tarificación.

### **3.9.2 TRANSFERENCIA DE LOS DATOS DE LAS LLAMADAS.**

La central de conmutación almacena los registros asociados a las llamadas hasta que estos se transfieren al centro de facturación. Esta transferencia de ficheros se puede efectuar en tiempo casi-real o incluso en tiempo real. Si hay cualquier problema en el equipo que recoge los ficheros o en las líneas de comunicación se pueden almacenar en la central y transferirlos posteriormente.

### **3.9.3 RECOGIDA Y PROCESAMIENTO DE DATOS.**

Una vez que la central ha enviado los registros al centro de facturación se inicia el ciclo de facturación. Se recogen todos los ficheros y se procesan. Cada llamada genera más de un registro de tarificación. En el postproceso se filtran aquellos que van a ser útiles para la facturación.

Dentro de estos registros están aquellos que se van a utilizar para la factura final del cliente, los que se van a utilizar en la interconexión con otras operadoras para facturarse mutuamente por los recursos compartidos, y los que se envían a otras operadoras para que facturen a sus clientes (se hace en el caso de clientes que hacen roaming en otras operadoras).

### 3.10 Gestión de la Seguridad.

La transmisión vía radio es, por naturaleza, más susceptible de ser vulnerada que la transmisión por línea. El GSM ha incorporado serias mejoras a la seguridad de la interfaz radio.

Las funciones de seguridad implementadas en el sistema GSM cumplen dos objetivos fundamentales: evitar el acceso no autorizado a la red y proteger el carácter privado de las comunicaciones. Las funcionalidades del sistema que permiten conseguir estos objetivos son las siguiente:

- Autenticación.
- Encriptado.
- Protección de la Identidad del Usuario.

#### 3.10.1 AUTENTICACIÓN

El primer método de autenticación que se implementa en GSM es el código PIN necesario para tener acceso a la tarjeta SIM. No obstante, el nivel de protección ofrecido por este sistema no es lo suficientemente seguro.

Pero, además, GSM utiliza un método mucho más sofisticado de autenticación en la red, basado en señalización que se produce entre esta última y la tarjeta SIM del cliente.

El método se basa en una secuencia aleatoria de números, denominada RAND en las especificaciones; una clave de seguridad  $k_i$  que está grabada en la tarjeta SIM del cliente y en el centro de autenticación de la red, de forma que nadie tiene, en principio, acceso a esta clave que es única para cada cliente; y, en un algoritmo, denominado A3 en las especificaciones, y que calcula una supuesta respuesta a partir de RAND y  $k_i$ .

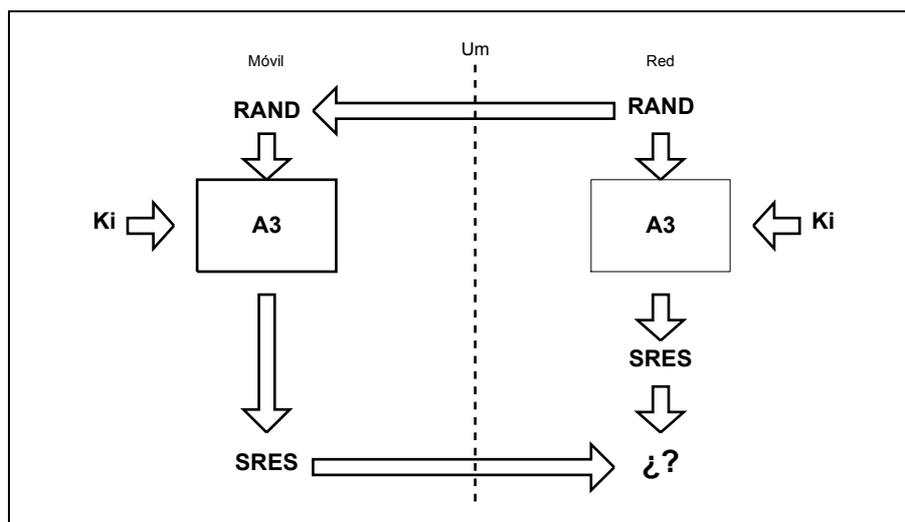


Figura 3.55. Mecanismo de autenticación.

La red envía el RAND por el interfaz aire hacia el móvil. Tanto red como estación móvil calculan, basados en el RAND y en los mismos algoritmo A3 y clave Ki, una secuencia de respuesta SRES que el móvil devuelve a la red. Si lo que recibe la red desde el móvil coincide con lo que la propia red ha calculado, se permite el acceso del cliente a la red.

### **3.10.2 ENCRIPTADO**

El proceso de encriptado se utiliza para evitar que las comunicaciones puedan ser interceptadas en el trayecto radio. Para ello, antes de radiar la información, el sistema somete dichos datos a un proceso de encriptación mediante un algoritmo, denominado A5, y otra clave distinta de Ki a la que se denomina Kc.

La obtención de la clave Kc está ligado a la clave Ki y a un tercer algoritmo de cálculo denominado A8. El proceso de cálculo de Kc se muestra en la figura siguiente.

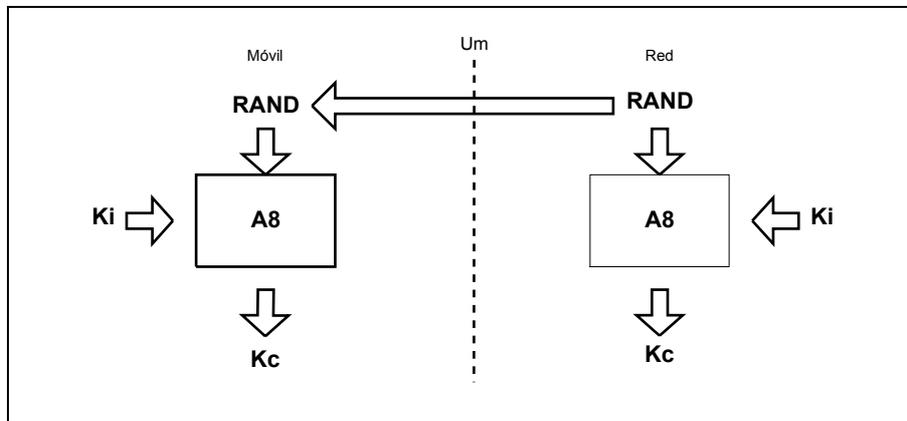


Figura 3.56. Mecanismo de cifrado.

Tanto la red como el móvil llegarán a la misma Kc para el cifrado y descifrado de las comunicaciones entre ellos.

### **3.10.3 PROTECCIÓN DE LA IDENTIDAD DEL USUARIO**

Para evitar que la identidad del usuario, que es lo que va a permitir el acceso a la red, viaje por el aire, siendo susceptible de ser capturado, la red GSM ha implementado un método de asignación de identidades de usuario temporales, (TMSI, Temporary Mobile Subscriber Identity), ligadas no sólo al usuario sino también al área de localización de éste.



## **Capítulo 4. Comunicaciones móviles por satélite.**

<b>Capítulo 4. Comunicaciones móviles por satélite.....</b>	<b>139</b>
<b>4.1. Conceptos generales sobre órbitas.....</b>	<b>140</b>
<b>4.2. Clasificación de los sistemas satelitales.....</b>	<b>142</b>
<b>4.3. Sistemas de comunicaciones móviles vía satélite.....</b>	<b>144</b>
4.3.1. SISTEMAS GEO.....	144
4.3.2. SISTEMAS LEO.....	145
4.3.3. SISTEMAS MEO.....	147
<b>4.4. Tablas resumen.....</b>	<b>148</b>

## 4.1. Conceptos generales sobre órbitas.

Es conveniente repasar algunos conceptos sobre las órbitas antes de conocer algunas generalidades de los sistemas de comunicaciones vía satélite (y que posteriormente veremos ya aplicados a las comunicaciones móviles, que es en realidad lo que nos ocupa), ya que el uso de un tipo y otro de órbita condiciona cómo éstos proporcionan los servicios de forma óptima.

Consideremos primero una órbita circular estable de un cuerpo alrededor de la Tierra (parte (a) de la figura 4.1).

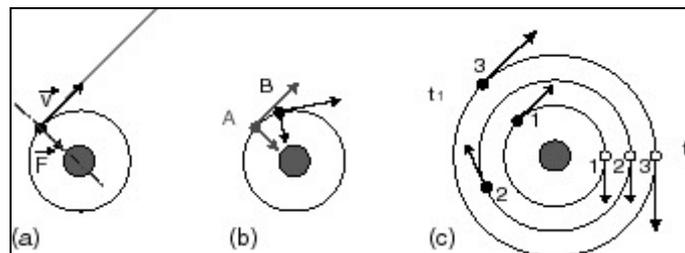


Figura 4.1. Diferentes situaciones en las trayectorias de satélites alrededor de la Tierra.

El cuerpo tiene cierta velocidad lineal  $\vec{v}$  con módulo constante y seguiría la trayectoria rectilínea señalada en la figura si no estuviera la Tierra, ya que el cuerpo no tendría ninguna fuerza aplicada sobre él. La fuerza de atracción gravitatoria  $\vec{F}$  es la que hace que, por ejemplo, tras estar el cuerpo en la posición A pase instantes después a la posición B (parte (b) de la figura anterior); es decir, hace que gire.

Para mantener una órbita estable con radio R la velocidad no puede ser ni muy grande (ya que el satélite se perdería en el espacio) ni muy pequeña (ya que caería a la Tierra): ha de cumplir cierta relación de equilibrio entre la aceleración debida a la fuerza de la gravedad y la velocidad lineal que tiene el satélite a la distancia R del centro de la Tierra. Esta relación viene dada por la ecuación

$$a_G = v^2 / R .$$

Es un momento adecuado para recordar que la llamada fuerza centrífuga es tan solo una fuerza ficticia que muchas veces se utiliza para explicar que la distancia satélite-Tierra no cambia en una órbita estable: si un observador se coloca en el satélite, no detectaría en la dirección del eje que une los centros de masas de satélite y Tierra aceleración alguna. Sin embargo el observador sabe que la fuerza de gravedad está actuando sobre el satélite, luego la compensa con algo que denomina fuerza centrífuga.

Desde fuera del satélite sí que se aprecia que éste tiene aceleración (por lo pronto, porque cambia la dirección del vector de velocidad lineal), y la única fuerza es la gravitatoria. Como hemos comentado, esta fuerza junto con la velocidad lineal (tangencial) hacen estable este movimiento circular.

La velocidad angular es también importante en este contexto. La velocidad lineal  $v$  y la angular  $\omega$  están relacionadas a través de la ecuación:

$$v = \omega R$$

En la parte (c) de la figura se representan tres cuerpos que describen trayectorias circulares alrededor de la Tierra. En el instante  $t_0$ , los cuerpos están alineados. Como podemos observar:

- Los cuerpos 1 y 2 tienen igual velocidad lineal, mientras que la del cuerpo 3 es mayor.
- El radio de la trayectoria del cuerpo 1 es menor que el del 2 y éste menor que el del 3.

Sin embargo, en el instante  $t_1$  la situación es la siguiente:

- El cuerpo 2 queda retrasado respecto del 1.
- El cuerpo 3 tiene la misma velocidad angular que el 1, por lo que se mantienen alineados.

Si un satélite tiene la misma velocidad angular que la Tierra (como sucede en el caso de los geoestacionarios), un observador colocado en un punto geográfico fijo observa que el satélite está siempre en un mismo punto del cielo.

Las órbitas reales de los satélites se aproximan a trayectorias circulares o a trayectorias elípticas. En este segundo caso, la Tierra está aproximadamente en uno de los focos de la elipse descrita por el cuerpo. La tercera ley de Kepler indica que el periodo de la órbita de un satélite varía con el semieje mayor de la órbita  $a$  (radio, en el caso particular de órbitas circulares) elevado a  $3/2$ .

En la figura 4.2 se muestra el semieje mayor de una órbita elíptica y cuatro puntos de esta trayectoria. El tiempo que tardaría un satélite en pasar del punto  $P_1$  al  $P_2$  es el mismo que el que tardaría en pasar del punto  $P_3$  al  $P_4$ ; las dos áreas sombreadas tienen la misma superficie (segunda ley de Kepler).

En las órbitas elípticas la velocidad lineal crece cuando el satélite va hacia el perigeo (el punto de la trayectoria más cercano a la Tierra) y decrece cuando va hacia el apogeo (el más lejano).

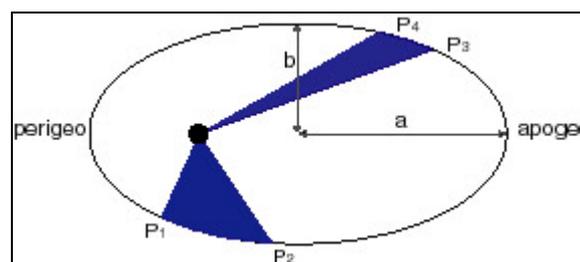


Figura 4.2. Órbita elíptica.

De forma general, cuanto más cerca de la Tierra está un satélite, más rápido debe pasar para que la órbita sea estable y, por ello, menos tiempo está a la vista en una zona geográfica concreta.

Por último, conviene recordar que las órbitas pueden estar colocadas en distintos planos orbitales. Estos planos quedan definidos por el ángulo de inclinación del plano en el que está contenida la órbita respecto del plano ecuatorial de la Tierra (ver figura 4.3). Así, la órbita ecuatorial tiene ángulos de inclinación de  $0^\circ$  y las órbitas polares lo tienen de cerca de  $90^\circ$ . De cualquier otro tipo de órbita se dice que es inclinada.

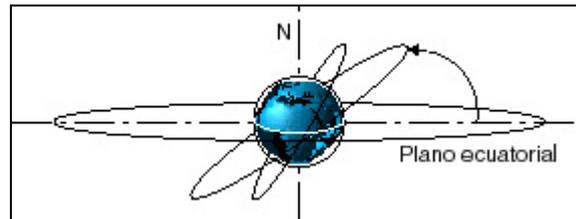


Figura 4.3. Planos orbitales.

## 4.2. Clasificación de los sistemas satelitales.

Los sistemas de comunicaciones por satélite se caracterizan por sustituir la estación de base terrestre por una “estación base” situada en órbita alrededor de la Tierra. Aunque estos sistemas ofrecen una gran superficie de cobertura, son muy susceptibles a desvanecimientos y a sombras de cobertura debido a obstáculos del terreno, bien naturales o artificiales.

Se pueden diferenciar tres tipos de sistemas, en función del tipo de órbita donde han situado, o van a situar, sus satélites, como veremos a continuación.

- **Sistemas geostacionarios, GEO:** Su órbita alrededor de la Tierra es de 24 h, el mismo tiempo que tarda la Tierra en rotar alrededor de su eje, por lo que desde ella se les ve como estacionarios en una posición fija en el cielo. La órbita síncrona de 24 h corresponde a una trayectoria de 35790 km por encima del ecuador terrestre. Es importante recordar que la órbita ha de contener a la línea del ecuador, ya que si no, no sería geostacionaria sino *geosíncrona*, y el satélite no parecería inmóvil desde la superficie terrestre, teniendo su huella sobre la superficie terrestre la forma de un “8”.
- **Sistemas de órbitas medias, MEO (Medium Earth Orbit):** Con satélites situados entre los 10000 y 20000 km de altura, por encima de los denominados *Anillos de Van Allen*, toroides de partículas en suspensión y materiales degradantes para los equipos y donde no se pueden ubicar satélites de comunicaciones.
- **Sistemas de órbitas bajas, LEO (Low Earth Orbit):** Con satélites situados a menos de 3000 km de altura, por debajo de los Anillos de Van Allen.

Por último, cabe mencionar otro satélite que se encuentra por encima de la GEO: la Luna. Es el caso contrario a los satélites de órbitas medias y bajas, ya que su período de traslación es mayor a un día, concretamente es de 28 días. Podríamos decir por tanto

que “la Luna tarda 28 días en dar la vuelta a la tierra”, frente al día que tarda un satélite GEO, las 8 horas que puede tardar un satélite MEO o los 90 minutos de un satélite LEO.

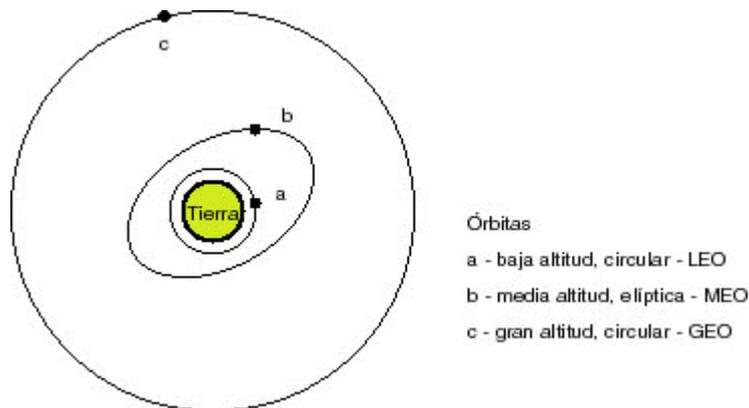


Figura 4.4. Tipos de órbita para satélites.

Emplearemos la órbita geoestacionaria para una breve discusión de la influencia del tipo de órbita en el sistema de comunicación via satélite:

- En principio, 3 satélites geoestacionarios en órbita ecuatorial serían suficientes para dar cobertura mundial, con servicio marginal en latitudes mayores de 80° N o S.
- El satélite permanece esencialmente estacionario con respecto a una estación terrestre determinada, con lo que no se necesitan equipos de rastreo en Tierra. Respecto del usuario, es muy difícil que necesite cambiar de satélite durante la comunicación, por lo que no es necesario tener este factor en cuenta. Un satélite de órbita baja puede dar la vuelta a la Tierra en 90 minutos.
- El efecto Doppler es despreciable comparado con los otros sistemas de satélites.
- El desgaste del satélite es menor que el de las órbitas más cercanas a la Tierra.
- En cambio, el retardo producido en la propagación es grande: 125 ms para una transmisión en un sentido en satélites GEO, frente a 2,67 ms de una transmisión con satélite LEO (para un round-trip, los tiempos son cuatro veces los señalados anteriormente).
- Son necesarios una alta potencia de transmisión y receptores más sensibles debido a las mayores distancias.
- La colocación de un satélite en órbita GEO y su mantenimiento allí son más complicados.

### 4.3.Sistemas de comunicaciones móviles vía satélite.

Existen actualmente diferentes sistemas de comunicaciones móviles que recurren a diferentes constelaciones de satélites para dotar de cobertura a las estaciones móviles que los componen. No obstante, dependiendo de la órbita en la que se encuentren los satélites tendremos sistemas GEO, sistemas LEO y sistemas MEO. Pasamos a describirlos a continuación.

#### 4.3.1.SISTEMAS GEO.

Los satélites correspondientes a estos sistemas se encuentran en órbita geostacionaria, lo cual tendrá una serie de ventajas e inconvenientes, que se describen en la siguiente tabla:

<i>Ventajas</i>	<i>Inconvenientes</i>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Red muy simple: con tres satélites es posible cubrir la tierra completa.</i></li> <li>• <i>No es necesario controlar los procesos de Roaming y Handover, al ser éstos muy ocasionales.</i></li> <li>• <i>La puesta en marcha de satélites GEO está muy experimentada, costes de desarrollo mucho menores.</i></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Es imposible el terminal handy, por tanto los móviles no pueden ser portátiles.</i></li> <li>• <i>Son necesarias antenas parabólicas de gran ganancia en recepción.</i></li> <li>• <i>Grandes retardos, por la gran distancia a recorrer por la señal.</i></li> <li>• <i>No cubre los polos.</i></li> <li>• <i>Congestión en la ocupación orbital.</i></li> </ul>

Tabla 4.5.Ventajas e inconvenientes de los sistemas GEO.

Podemos deducir que los sistemas GEO tendrán sentido para móviles no portátiles a bordo de vehículos, este es el caso de las unidades móviles de radio y televisión que pueden emplear el satélite como repetidor de su señal, o bien para embarcaciones que poseen parabólicas orientables y que dada su baja velocidad no pierden nunca la visibilidad del satélite.

#### **4.3.1.1.Inmarsat.**

Dentro de los sistemas móviles GEO destaca el sistema INMARSAT, creado en 1.979 y pensado inicialmente para dar cobertura a las comunicaciones marítimas aunque también se puede recibir la señal en las zonas terrestres. A finales de 1.998 había más de 140.000 terminales de los cuales las 2/3 correspondían a estaciones móviles marítimas. Es por tanto el sistema de comunicaciones móviles vía satélite más consolidado que existe actualmente.

Posee 4 satélites geostacionarios que dan cobertura entre los 70° de latitud norte y sur a 4 regiones: la pacífica, la atlántica occidental, la atlántica oriental y la índica, además de 36 estaciones terrestres que conectan el sistema con la infraestructura terrestre. En la figura 4.6 aparece la constelación de este sistema:

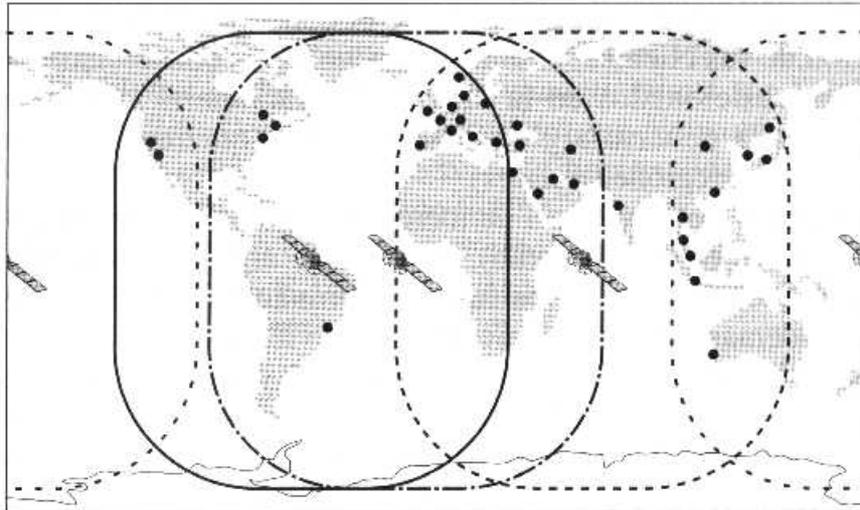


Figura 4.6. Sistema INMARSAT. Podemos ver cómo se distribuyen las 4 regiones y las 36 estaciones terrestres que componen el sistema.

### 4.3.2.SISTEMAS LEO.

La restricción más importante de los sistemas GEO era evidentemente la imposibilidad de terminales portátiles. La filosofía de los sistemas LEO es emplear una constelación de satélites en órbitas bajas, lo cual tendrá una serie de ventajas e inconvenientes, que se describen en la siguiente tabla:

<i>Ventajas</i>	<i>Inconvenientes</i>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Posibilidad de terminales handy, al estar los satélites mucho más cerca de la superficie terrestre.</i></li> <li>• <i>Retardo mucho menor que en los sistemas GEO.</i></li> <li>• <i>Posibilidad de cubrir las zonas polares.</i></li> <li>• <i>Escasa congestión de satélites en la zona LEO.</i></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Altísimo coste económico en la puesta en marcha de la constelación.</i></li> <li>• <i>Red compleja.</i></li> <li>• <i>Necesidad de controlar los procesos de Roaming y Handover, con la particularidad añadida que los satélites también están en movimiento.</i></li> <li>• <i>Costes de desarrollo de un sistema nuevo.</i></li> </ul>

Tabla 4.7. Ventajas e inconvenientes de los sistemas LEO.

Podemos deducir que los sistemas LEO tendrán unos potenciales usuarios muy diferentes a los de los sistemas GEO: se tratará de personas de negocios que necesitan desplazarse, zonas aisladas de la cobertura celular terrestre y zonas afectadas por una catástrofe natural y que ha destruido los sistemas terrestres.

Dentro de los sistemas LEO podríamos hacer una subdivisión según el ancho de banda en Little LEOs (Banda estrecha, para transmitir volúmenes reducidos de datos), donde no es necesaria la comunicación en tiempo real, y los Big LEOs (Banda ancha, especialmente pensados para transmitir voz), que requieren retardos cortos y mucha potencia en juego para reducir el tamaño los terminales móviles.

Cabe destacar que la puesta en marcha de un sistema compatible internacionalmente como el GSM ha frenado las expectativas de los sistemas LEO en cuanto a los usuarios que se desplazan fuera de su país.

Los dos sistemas LEO más importantes que existen son el sistema IRIDIUM y el GLOBALSTAR. Pasamos a comentarlos brevemente:

#### **4.3.2.1. Iridium.**

El sistema IRIDIUM fue impulsado por Motorola y es un sistema TDMA de origen militar. Se compone de 77 satélites repartidos en 11 órbitas polares y recibe su nombre por ser el 77 el número atómico del Iridio por analogía de los satélites alrededor de la Tierra con los electrones que rodean al núcleo del átomo. Los satélites se encuentran a 780 km de la superficie terrestre, se desplazan a 28.000 km/h, poseen un período de rotación de 100 minutos aproximadamente y se interconectan mediante enlaces ISL (*Inter Satellite Link*) de manera que una llamada entre dos terminales Iridium no tiene porqué pasar a través de una red conmutada terrestre. Posee asimismo 20 estaciones terrestres que interconectan al sistema con las redes de comunicaciones terrestres. Los satélites se comunican con los móviles en la banda de 1,6 GHz (banda L), y utilizan como técnica de acceso la TDMA. En la figura 4.8 podemos ver la constelación y la cobertura de este sistema, que es global al cubrir las zonas polares.

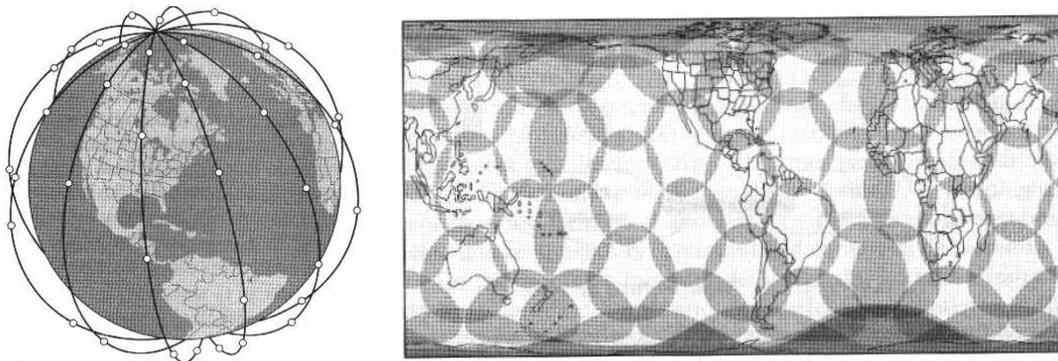


Figura 4.8. Constelación y cobertura del sistema IRIDIUM.

El sistema fue puesto en marcha en enero de 1.997 quedando completado en noviembre de 1.998. Desgraciadamente en agosto de 2.000 comenzó la desintegración de la constelación debido a las elevadas pérdidas económicas que han llevado al sistema IRIDIUM a la bancarrota.

#### **4.3.2.2. Globastar.**

Existe no obstante un segundo sistema LEO a 1,6 GHz llamado GLOBALSTAR cuyos socios principales son Alcatel y Vodafone. Sus principales diferencias con IRIDIUM son las siguientes:

- Sistema concebido inicialmente como un sistema comercial.
- No existen los ISL (los satélites actúan como meros espejos), y hay un mayor número de estaciones terrestres.
- Posee 48 satélites a 1.410 km de altitud en 8 planos orbitales inclinados 52° respecto al ecuador. Por tanto no quedan cubiertas las zonas polares.
- El acceso múltiple es CDMA.

En la figura 4.9 podemos ver la constelación y la cobertura del sistema GLOBALSTAR. La constelación fue desplegada durante el año 1.999 y todo apunta a que va a integrar la parte satelital del sistema UMTS que veremos más adelante.

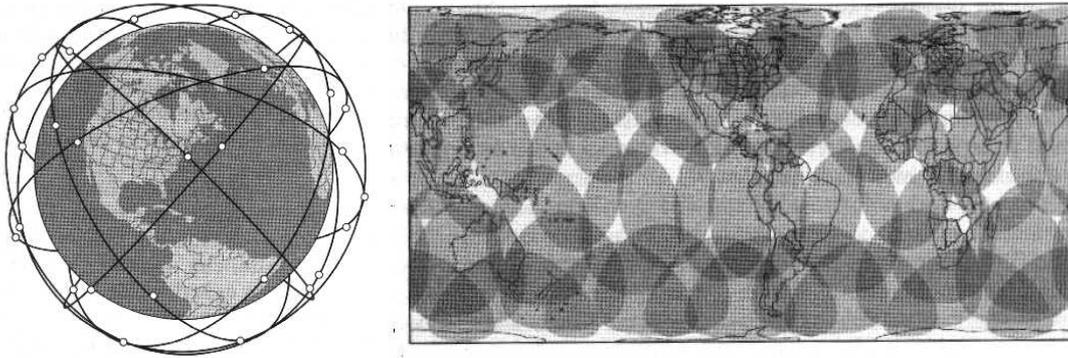


Figura 4.9. Constelación y cobertura del sistema GLOBALSTAR.

### **4.3.3.SISTEMAS MEO.**

Buscando un compromiso entre los sistemas GEO y LEO surgen los sistemas MEO, compuestos por una constelación de 12 satélites aproximadamente en órbitas medias. Poseen las ventajas e inconvenientes de ambos sistemas de forma atenuada, con lo cual las características más destacables son las siguientes:

- Red de complejidad media.
- Terminales portátiles aunque de tamaño mucho mayor que los de sistemas LEO, al necesitar una antena de mayor ganancia.
- Handover poco frecuente aunque es necesario controlar.
- Retardo intermedio entre los sistemas LEO y GEO.

Como curiosidad cabe comentar que existe una excepción en los sistemas MEO y es en el desgaste del satélite: los satélites en órbitas MEO sufren en menor medida la erosión que los LEO y GEO. Ello es debido a que los LEO sufren mayor desgaste que los MEO debido a su mayor velocidad de desplazamiento, y los GEO también sufren mayor desgaste que los MEO, aunque esta vez es debido a la posición orbital que ocupan.

#### **4.3.3.1.ICO**

Dentro de los sistemas MEO tenemos el sistema ICO puesto en marcha por INMARSAT y Hughes y que estaba previsto para 2.001. Está compuesto por 12 satélites situados en dos órbitas a 10390 km sobre la tierra e inclinadas 45° respecto al ecuador, de manera que poseen un período de rotación de 4 horas aproximadamente.

Su técnica de acceso múltiple es TDMA, no posee enlaces ISL y deja sin cobertura algunas regiones oceánicas. En la figura 4.10 tenemos su constelación y cobertura.

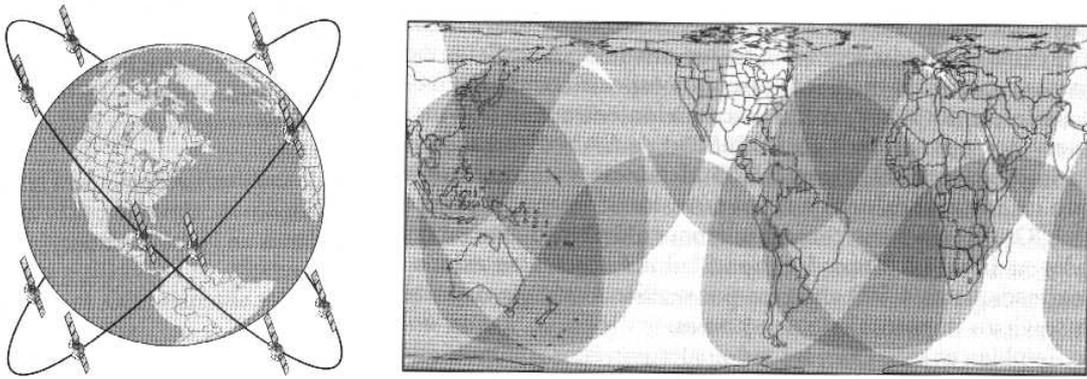


Figura 4.10. Constelación y cobertura del sistema ICO.

#### 4.3.3.2. Sistema GPS para radionavegación.

Por último y pese a no constituir propiamente un sistema de comunicaciones sino de radionavegación (y por tanto también móvil) es oportuno, dada su popularidad, mencionar el sistema NAVSTAR empleado para *GPS (Global Positioning System)* y que permite conocer a usuarios de todo el mundo datos de su posición y velocidad, así como datos de tiempo de forma gratuita aunque con resolución reducida. Esta constelación está compuesta por 24 satélites colocados en 6 planos orbitales (órbitas circulares) a 20.180 km de altura, y el terminal móvil necesita obtener su distancia respecto de al menos 3 satélites diferentes para determinar su posición de forma unívoca. Utiliza la técnica de acceso múltiple CDMA.

## 4.4. Tablas resumen.

Para terminar el presente capítulo, presentamos a modo de resumen del mismo las siguientes tablas:

	<i>LEO</i>	<i>MEO</i>	<i>GEO</i>
<i>Coste del satélite</i>	<b>Máximo</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Medio</b>
<i>Años de vida</i>	<b>3-7</b>	<b>10-15</b>	<b>10-15</b>
<i>Terminal "handy"</i>	<b>Posible</b>	<b>Posible</b>	<b>Muy difícil</b>
<i>Retardo</i>	<b>Bajo</b>	<b>Medio</b>	<b>Alto</b>
<i>Pérdidas propagación</i>	<b>Bajas</b>	<b>Medias</b>	<b>Altas</b>
<i>Red</i>	<b>Compleja</b>	<b>Media</b>	<b>Simple</b>
<i>Handover</i>	<b>Frecuente</b>	<b>Medio</b>	<b>No se emplea</b>
<i>Visibilidad</i>	<b>Corta</b>	<b>Media</b>	<b>"Casi" permanente</b>

Tabla 4.11. Comparativa de los sistemas LEO, MEO y GEO.

	<i>IRIDIUM</i>	<i>GLOBALSTAR</i>	<i>ICO</i>
<i>Uplink Terminal Móvil-Satélite</i>	<b>1616-1626.5 MHz</b>	<b>1616-1626.5 MHz</b>	<b>2170-2200 MHz</b>
<i>Downlink Satélite-Terminal Móvil</i>	<b>1616-1626.5 MHz</b>	<b>2483.5-2500 MHz</b>	<b>1980-2010 MHz</b>
<i>Enlace Estación Terrena-Satélite</i>	<b>27.5-30 GHz</b>	<b>5.091-5.250 GHz</b>	<b>5 GHz</b>
<i>Enlace Satélite-Estación Terrena</i>	<b>18.8-20.2 GHz</b>	<b>6.875-7.055 GHz</b>	<b>7 GHz</b>
<i>Potencia de emisión del satélite</i>	<b>1.4 kW</b>	<b>1 kW</b>	<b>2.5 kW</b>
<i>Masa del satélite</i>	<b>700 kg</b>	<b>450 kg</b>	<b>1925 kg</b>
<i>Tipo de órbita</i>	<b>LEO</b>	<b>LEO</b>	<b>MEO</b>
<i>Altitud satélites sobre la superficie terrestre</i>	<b>780 km</b>	<b>1410 km</b>	<b>10355 km</b>
<i>Número de satélites</i>	<b>66+11</b>	<b>48+8</b>	<b>10+2</b>
<i>Período</i>	<b>1h 40 min</b>	<b>1 h 54 min</b>	<b>3 h 59 min</b>
<i>Tiempo de visibilidad</i>	<b>11 min</b>	<b>16 min</b>	<b>1h 56 min</b>
<i>Retardo mínimo</i>	<b>2.6 ms</b>	<b>4.63 ms</b>	<b>34.5 ms</b>
<i>Retardo máximo</i>	<b>8.22 ms</b>	<b>11.5 ms</b>	<b>48 ms</b>
<i>Nº estaciones terrenas</i>	<b>15-20</b>	<b>100-210</b>	<b>12</b>
<i>Método de Acceso múltiple</i>	<b>TDMA/FDMA/ TDD</b>	<b>CDMA/FDMA/ FDD</b>	<b>TDMA/FDMA/ FDD</b>

Tabla 4.12. Comparativa de los sistemas IRIDIUM, GLOBALSTAR e ICO.



## Capítulo 5. Comunicaciones inalámbricas.

<b>Capítulo 5. Comunicaciones inalámbricas.....</b>	<b>151</b>
<b>5.1 Telefonía inalámbrica.....</b>	<b>152</b>
5.1.1 INTRODUCCIÓN.....	152
5.1.2 DEFINICIÓN.....	152
5.1.3 CT0, CT1 Y CT2. CORDLESS TELECOMMUNICATIONS.....	153
5.1.4 DECT.DIGITAL EUROPEAN CORDLESS TELECOMMUNICATIONS.....	155
5.1.5 PHS. PERSONAL HANDYPHONE SYSTEM.....	157
5.1.6 WACS/PACS. WIRELESS/PHONE ACCESS COMMUNICATIONS SYSTEM.....	160
5.1.7 COMPARATIVA ENTRE SISTEMAS DIGITALES INALÁMBRICOS Y SISTEMAS DIGITALES CELULARES.....	161
<b>5.2 Sistemas Punto a Multipunto.....</b>	<b>162</b>
5.2.1 DESCRIPCIÓN, TIPOS Y CARACTERÍSTICAS.....	162
5.2.2 BWA. BROADBAND WIRELESS ACCESS.....	163
5.2.3 LMDS. LOCAL MULTIPOINT DISTRIBUTION SERVICE.....	164
5.2.4 MVDS. MULTIPOINT VIDEO DISTRIBUTION SYSTEM.....	164
5.2.5 ESTACIONES BASE.....	164
5.2.6 TERMINAL.....	166
5.2.7 APLICACIONES.....	167

## **5.1 Telefonía inalámbrica.**

### **5.1.1 INTRODUCCIÓN.**

Paralelamente al auge de los sistemas de telefonía móvil, en la década de los ochenta, se registró un desarrollo espectacular de los denominados teléfonos inalámbricos (Cordless). El desarrollo de la microelectrónica permitió la aparición de equipos terminales móviles de consumo, tamaño y peso reducido, lo que facilitó el uso de la telefonía inalámbrica en hogares, oficinas, lugares públicos, etc. En este tipo de sistema existe una pequeña estación base conectada a la línea telefónica y que da servicio, en un radio de unos pocos centenares de metros, a uno o varios teléfonos portátiles, permitiendo una completa movilidad de los usuarios.

Estos sistemas se desarrollaron al amparo de la tecnología de los sistemas de comunicaciones móviles celulares de primera generación, e inicialmente no se vieron sujetos a reglamentación alguna, fundamentalmente por su pequeña zona de cobertura a causa de su limitada potencia de transmisión (menos de 1 W). No obstante la creciente popularización de los mismos, dio lugar a un alto nivel de interferencias debidas a la existencia de un elevado número de terminales de bajo coste y no siempre de buena calidad, obligando en primer lugar al FCC y posteriormente al CEPT a plantearse la regularización de estos sistemas bajo las especificaciones denominadas CT0 y CT1 respectivamente. Si bien el CEPT planteó este estándar más como recomendación que como normativa, lo cierto es que con ligeras diferencias el estándar fue aceptado en 11 países Europeos: Alemania, Austria, Bélgica, Dinamarca, Finlandia, Holanda, Italia, Luxemburgo, Noruega, Suecia y Suiza, mientras que Francia y el Reino Unido desarrollaron su propia normativa.

### **5.1.2 DEFINICIÓN.**

Las telecomunicaciones sin hilos están diseñadas para usuarios cuyos movimientos están delimitados a un área bien definida. El usuario de las telecomunicaciones sin hilos hace llamadas desde un terminal portátil que se comunica por señales de radio con una estación base fija. La estación base está conectada directa o indirectamente a la red telefónica conmutada (RTC).

El área restringida cubierta por un sistema de telecomunicaciones sin hilos puede ser desde una casa o apartamento privados hasta un distrito urbano o un bloque de oficinas. Cada aplicación tiene sus necesidades específicas.

### **5.1.3 CT0, CT1 Y CT2. CORDLESS TELECOMMUNICATIONS.**

Las denominaciones CT se corresponden con “Cordless Telecommunications”. Las denominaciones CT0 y CT1 corresponden a los estándares de primera generación de este tipo de sistemas.

Partiendo de una estación base, cargador y terminal, y enfocados principalmente al uso doméstico, estos sistemas estuvieron disponibles a primeros de los 80. Con un radio de cobertura de 100 a 200 metros, utilizan técnicas analógicas de transmisión radio sobre dos canales independientes: uno para transmitir y otro para recibir voz. El inconveniente es que el número limitado de frecuencias disponibles para estos sistemas puede provocar interferencias entre terminales, a pesar de la baja densidad relativa de usuarios.

Las principales características de los sistemas CT0 y CT1 están resumidas en la tabla de comparación entre los diferentes sistemas inalámbricos. En particular, para el sistema CT1 se disponen de 40 canales en la banda de 914-915 MHz para enlace móvil-base y 959-960 MHz para enlace base-móvil. Se utiliza un método de modulación de frecuencia y los canales se asignan de forma dinámica, de modo que a cada nuevo usuario el sistema le asigna de forma automática uno de los canales que en el momento de petición de llamada estén libres. Los problemas más relevantes de esta primera generación de teléfonos sin hilos son el limitado rango de cobertura, de algunas decenas de metros y, fundamentalmente, su gran vulnerabilidad a los efectos de las interferencias ocasionadas por otros usuarios y debido al limitado número de radiocanales disponibles.

El sistema CT2 desarrollado en el Reino Unido utiliza 40 canales radioeléctricos de 100 kHz de ancho de banda cada uno. La banda utilizada es 864,15-868,05 MHz y, a diferencia del sistema CT0 que utilizaba bandas de transmisión distintas para el enlace móvil-base o base- móvil (FDD), utiliza un método de multiplexado en el tiempo (TDD) para separar ambos sentidos de transmisión. El hecho que la señal vocal se transmita de forma digitalizada facilita la adopción del multiplexado temporal. El sistema TDD utiliza una trama de 2 mseg en donde se transmiten a 72 kb/s dos ráfagas, una en cada sentido, de 66 bits (0,917 ms), si bien a petición de uno de los usuarios la longitud de la ráfaga puede incrementarse a 68 bits. El resto del tiempo de trama se destina a tiempos de guarda entre ambas ráfagas a fin de evitar posibles solapes de las mismas.

Para digitalizar la señal vocal se utiliza un vocoder muy simple del tipo ADPCM (Adaptative Differential Pulse Corle Modulation) a 32 kb/s. El método de modulación utilizado es FSK binario con un índice de modulación que puede variar entre 0,4 y 0,1. Los datos a transmitir son previamente filtrados, mediante un filtro gaussiano, con objeto de minimizar la interferencia en los canales adyacentes. Por esta razón la modulación se le denomina GFSK (Gaussian Frequency Shift Keying).

Paralelamente a la aparición del sistema CT2 la Administración sueca estableció su normativa para los sistemas de telefonía sin hilos digitales (Digital Cordless Telephone o DCT). Este sistema, como el CT2, utiliza una técnica de acceso TDMA y duplexación en el tiempo (TDD). El sistema, dentro de la banda de 862-864 MHz, permite utilizar una única portadora que soporta 16 canales dúplex (32 ráfagas dentro de una trama) o bien dos portadoras con 8 canales dúplex cada una, estando prevista una ampliación de la banda para dar servicio a un total de 32 canales dúplex.

Tanto las Administraciones inglesa como sueca intentaron que el CEPT aceptara las normativas CT2 y DCT respectivamente como estándares de los sistemas de telefonía sin hilos digital. Sin embargo, la CEPT opinó que ninguna de estas normativas, ni tampoco el sistema CT3 también propuesto por el Reino Unido cumplía en su totalidad con los requisitos y variedad de aplicaciones que se preveían para el sistema. Por esta razón decidió, de modo similar a lo realizado para el sistema de telefonía móvil digital GSM, estandarizar un nuevo sistema digital de telefonía sin hilos que tuviera carácter pan-europeo. Este estándar se denomina sistema DECT siglas de "Digital European Cordless Telecommunication".

#### **5.1.4 DECT.DIGITAL EUROPEAN CORDLESS TELECOMMUNICATIONS**

El DECT es esencialmente una tecnología genérica de acceso radio para comunicaciones sin hilos en distancias cortas. El sistema DECT está pensado para dar un servicio de telefonía inalámbrica con unas prestaciones sustancialmente mejores que las aportadas por los sistemas anteriores. En particular el sistema DECT debe de ser capaz de operar en los siguientes entornos:

- Telefonía sin hilos para uso privado.
- Servicio de telepunto.
- Sistema de telefonía en interiores vía radio privado (PABX).
- Redes de área local vía radio (WLAN) para transmisión de datos en entornos ofimáticos.

Al ser una tecnología de acceso radio, el DECT define un interfaz aire diseñado para utilizarse como medio de acceso a muchos tipos de redes distintas - RTC, RDSI, GSM, redes privadas y centralitas, entre otras. El DECT no define una arquitectura de red soporte ("backbone"), al contrario que, por ejemplo, el GSM. Por ello, para poder conectarse a cualquier tipo de red, el DECT viene provisto de una completa serie de protocolos en su estándar básico.

El DECT es un sistema diseñado para soportar altas densidades de tráfico, a distancias reducidas, típicamente 300 metros, aunque podría ampliarse considerablemente para aplicaciones específicas. El DECT se aplica a cualquier tipo de comunicaciones sin hilos, no sólo a telefonía convencional. Actualmente, el DECT permite el envío de mensajes de texto, acceso RDSI básico 2B+D o, utilizando los perfiles de datos de DECT, velocidades de transmisión de hasta 522 kbps para aplicaciones multimedia.

El DECT se diseñó para ser fácil de construir, fácil de instalar, pero, a la vez, ofreciendo alta capacidad y calidad de voz, equivalente a la de las redes fijas. Algunas de las características de este sistema son las siguientes:

- 10 frecuencias entre 1880 y 1900 MHz, con 24 timeslots en cada canal, ofreciendo un total de 240 timeslots o 120 canales (TDMA).
- Alta capacidad: 10.000 E/m<sup>2</sup>.
- Selección dinámica de canal; el terminal DECT decide cuándo y hacia dónde realiza el handover.
- No es necesario planificar frecuencias, lo que permite una instalación relativamente sencilla.
- Alta calidad de voz gracias al uso de la modulación ADPCM (Adaptative Differential Pulse Code Modulation) a 32 kbps, según norma G.736, con control de eco en la parte fija.
- Handover automático.

Como en el sistema GSM, la modulación elegida es GMSK con un ancho de banda del filtro de premodulación gaussiano de 0,5 veces la velocidad de transmisión. La ventaja de elegir este valor radica en que permite detectar los datos transmitidos utilizando un demodulador de frecuencia junto con un simple detector de umbral a cero, puesto que la señal a la salida del demodulador de frecuencia está libre de interferencia intersimbólica. Ello, junto con la limitada cobertura del sistema, que limita la dispersión temporal que sufre la señal debido a la propagación a valores inferiores a 0,1 veces la duración de un símbolo, evita, en principio, utilizar igualadores de canal que aumentarían considerablemente la complejidad de los equipos. El ancho de banda ocupado por cada radiocanal es de 1728 kHz. En la siguiente figura se muestra la estructura de ráfaga, trama y multitrama utilizada en el sistema.

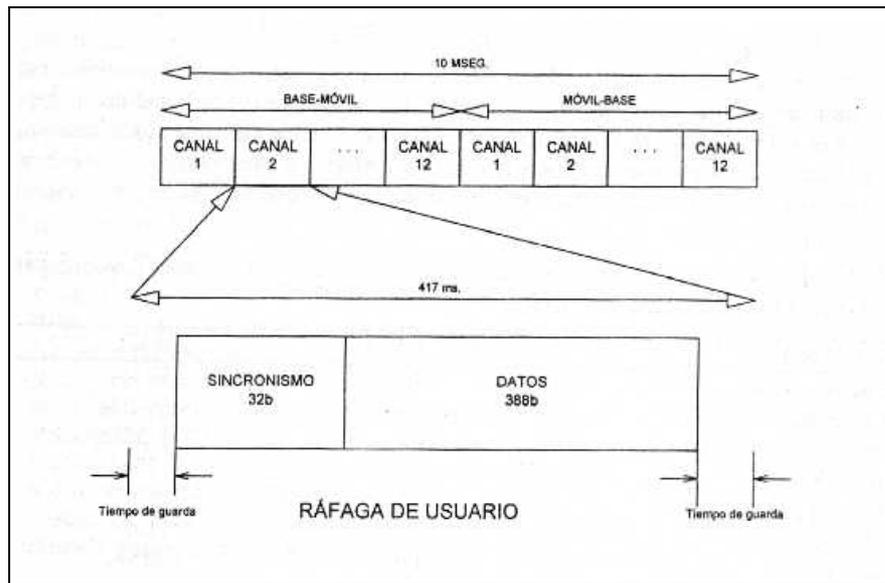


Figura 5.1. Estructura de ráfaga, trama y multitrama en el sistema DECT.

Uno de los bloques funcionales básicos del DECT es el denominado GAP (Generic Access Profile). Éste define un conjunto mínimo de requisitos para soportar telefonía vocal. También define los componentes básicos del protocolo DECT que son necesarios para permitir que cualquier terminal DECT pueda conectarse a cualquier parte fija DECT que soporten este protocolo. Este perfil permite movilidad dentro del sistema DECT, además de encriptación de la señal.

El sistema prevé la transmisión tanto de datos como de voz digitalizada. En el caso de transmisión vocal éste se codifica a 32 kb/s según una técnica ADPCM, mientras que en el caso de transmisión de datos está previsto que el sistema sea compatible con RDSI. Para ello pueden utilizarse varias ráfagas para dar servicio al usuario.

Una de las aportaciones técnicas más relevantes del sistema es la selección dinámica de canales (Dynamic Channel Allocation), mediante el cual, el portátil selecciona en todo momento, de entre los canales de radiofrecuencia disponibles, aquél que presente mayor nivel de relación señal-ruido. Esto evita tener que realizar un proceso de planificación y coordinación de frecuencias entre células adyacentes y permite al sistema operar en ambientes con muy distintos niveles de tráfico, y por lo tanto de interferencia.

El sistema DECT presenta un bajo coste, flexibilidad y facilidad de operación. Esto significa, entre otras cosas, que la estación base no necesita estar sincronizada puesto que las acciones que se realicen incluyen ya campos de sincronización y paridad. Estas acciones pueden ser: detección de colisiones, handover, etc. La información acerca de buenos accesos, capacidad de la estación base, localización de mensajes, etc., se multiplexa dentro del canal de control, cada vez que se activa la transmisión. Para optimizar la utilización de la estación base transmisora y para hacer más robusto el sistema, se utiliza una portadora falsa que funciona cuando no esta activa la llamada.

Para mayor flexibilidad, el sistema DECT esta totalmente basado en el modelo de referencia OSI (Open System Interconnect), y permite series de rutas de escape para propiedades adicionales y otras alternativas. DECT en particular incluye la posibilidad de especificar la alternativa de control de acceso al medio (MAC), Dala Link Control (DLC), y otros protocolos de enlace y de red. Esta posibilidad es una llave para su evolución en el futuro.

En Europa, el primer sistema DECT empezó a ser utilizado principalmente para uso doméstico y en negocios. En 1994 se vendieron alrededor de 0,1 millones de unidades DECT en Europa. DECT y otras posibles variantes de este sistema tienen un gran potencial debido a su bajo coste, y por eso se espera que para un futuro no muy lejano haya sistemas basados en picocélulas. En resumen, DECT es un estándar flexible que soporta un gran rango de servicios en pequeñas células.

En la siguiente tabla se pueden apreciar las características de el sistema CT2 tanto para Europa como para Canadá, y las características del sistema DECT.

<i>PARÁMETROS</i>	<i>CTZ CT2+</i>	<i>DECT</i>
<i>Duplexado</i>	<b><i>TDD</i></b>	<b><i>TDD</i></b>
<i>Bandade frecuencia (MHz)</i>	<b><i>864-868944-948</i></b>	<b><i>1880-1900</i></b>
<i>BWporradiocanal (KHz)</i>	<b><i>100</i></b>	<b><i>1728</i></b>
<i>N0 de portadoras</i>	<b><i>40</i></b>	<b><i>10</i></b>
<i>N0 de canales por radiocanal</i>	<b><i>1</i></b>	<b><i>12</i></b>
<i>Velocidad trx (KHz)</i>	<b><i>72</i></b>	<b><i>1152</i></b>
<i>Modulación</i>	<b><i>GMSK</i></b>	<b><i>GMSK</i></b>
<i>Vel. de trx. por canal vocal (Kb/s)</i>	<b><i>32</i></b>	<b><i>32</i></b>
<i>Potencia media del trx (mW)</i>	<b><i>5</i></b>	<b><i>10</i></b>
<i>Potencia de pico del trx. (mW)</i>	<b><i>10</i></b>	<b><i>250</i></b>
<i>Duración de la traína (mseg)</i>	<b><i>2</i></b>	<b><i>10</i></b>

Tabla 5.2. Características técnicas del DECT y CT2/CT2+.

**5.1.5 PHS. PERSONAL HANDYPHONE SYSTEM.**

Mientras en Europa se trabaja sobre el sistema DECT y su evolución, en Japón se comercializa con bastante éxito un sistema de telecomunicaciones sin hilos al que denominan PHS (Personal Handy-phone System).

Como puede identificarse en la figura siguiente, el sistema PHS define algo más que el acceso radio, al contrario de lo que hace el DECT. Este sistema identifica también elementos de red, tales como el Servidor PHS, el HLR (Home Location Register) o registro de posición de base, el CDR (Call Detail Recorder) o base de registros de llamada, el NMS (Network Management System) o sistema de gestión de red y la BC/SDM (Billing Centre/Subscriber Data Management) o centro de explotación.

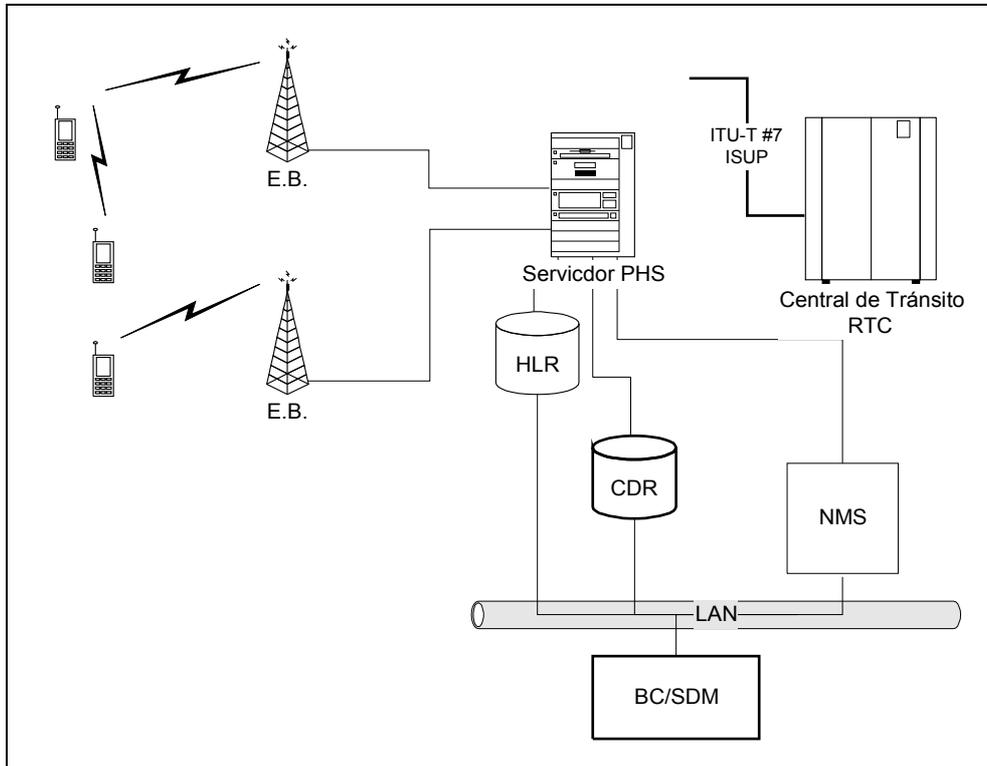


Figura 5.3. Sistema PHS.

Este sistema se ha construido sobre la base de tecnologías de acceso radio digital y una arquitectura de red microcelular. El PHS utiliza una técnica de asignación dinámica de canales, que unido a técnicas descentralizadas de control de los radiocanales permiten al operador utilizar las frecuencias de forma flexible y eficiente.

El interfaz aire está totalmente estandarizado por la Asociación de Industrias y Empresas de Radio (ARIB, Association of Radio Industries and Businesses), que es una organización japonesa encargada de estos temas. El interfaz de red entre estaciones base y red digital está estandarizado por el Comité Técnico de Telecomunicaciones, que es el órgano japonés responsable de los estándares de red. Este interfaz de red está basado en la RDSI, modificado para permitir funciones específicas del PHS, tales como el registro, la autenticación y el handover.

Algunas de las características básicas de este sistema son las siguientes:

- El PHS consiste en 77 canales, con un ancho de 300 kHz, en la banda de 1895-1918,1 MHz. La banda de 1906,1-1918,1 MHz (40 frecuencias) está designada para sistemas públicos, y la banda de 1895-1906,1 MHz (37 frecuencias) esta siendo utilizada para aplicaciones domésticas y de oficina.

- Utiliza la técnica de acceso TDMA/TDD, igual que el DECT.
- Alta calidad de voz gracias al uso de la modulación ADPCM (Adaptative Differential Pulse Code Modulation) a 32 kbps.
- Selección dinámica de canal; el terminal PHS decide cuándo y hacia dónde realiza el handover.
- No es necesario planificar frecuencias, lo que permite una instalación relativamente sencilla.
- Handover automático. Esta configurado para una velocidad de paseo (andando).
- La típica conversación y el tiempo de espera (standby time) son de 5 y 150 horas, respectivamente.
- A diferencia del resto de sus competidores, permite la comunicación entre terminales sin necesidad de utilizar el resto de la red.

Para la transmisión de datos, PHS puede soportar G3 fax de 4,2 hasta 7,8 kb/s y módem full-duplex de transmisión de 2,4 a 9,6 kb/s. Un nuevo estándar será establecido para soportar 32 kbits (ó 64) de datos mediante un acceso directo a uno o dos canales de portadora, respectivamente.

En la tabla siguiente se pueden apreciar las características técnicas del sistema PHS comparándolas cori las del sistema americano PACS que se analizarán en el siguiente punto.

<i>PARÁMETROS</i>	<i>PHS</i>	<i>PACS</i>
<i>Duplexación</i>	<b><i>TDD</i></b>	<b><i>FUD</i></b>
<i>Banda de frecuencia (MHz)</i>	<b><i>1895-1918</i></b>	<b><i>1850-1910/1930-1990</i></b>
<i>BW por radiocanal (kHz)</i>	<b><i>300</i></b>	<b><i>300/300</i></b>
<i>Nº de portadoras</i>	<b><i>77</i></b>	<b><i>16 pares/10 MHz</i></b>
<i>Nº de canales por radiocanal</i>	<b><i>4</i></b>	<b><i>8/pares</i></b>
<i>Velocidad trx (KHz)</i>	<b><i>384</i></b>	<b><i>38</i></b>
<i>Modulación</i>	<b><i><math>\pi/4</math> DQPSK</i></b>	<b><i><math>\pi/4</math> QPSK</i></b>
<i>Vel. de trx. por canal vocal (Kb/s)</i>	<b><i>32</i></b>	<b><i>32</i></b>
<i>Potencia media del trx (mW)</i>	<b><i>10</i></b>	<b><i>25</i></b>
<i>Potencia de pico del trx. (mW)</i>	<b><i>80</i></b>	<b><i>200</i></b>
<i>Duración de la trama (ms)</i>	<b><i>5</i></b>	<b><i>2,5</i></b>

Tabla 5.4. Características técnicas de los sistemas PHS y PACS.

### **5.1.6 WACS/PACS. WIRELESS/PHONE ACCESS COMMUNICATIONS SYSTEM.**

En los Estados Unidos, Beil Communications Research (Belicore) desarrolló un interfaz aire para acceso a sistemas de comunicación sin hilos (WACS). Este interfaz fue creado para proporcionar conectividad sin hilos para Local Exchange Carrier (LEC) y sus especificaciones fueron desarrolladas con la idea de utilizar portátiles de baja velocidad y en sistemas de microcélulas e indoor. PACS se creó para soportar voz, datos e imágenes de vídeo y sus estaciones tienen una cobertura de 600 m. El objetivo principal del sistema PACS es integrar todas las formas de comunicaciones locales sin hilos dentro de un sistema que tenga todas las características telefónicas actuales; esto se puede llevar a cabo gracias al concepto de LEC y a la interfaz aire WACS.

El interfaz aire WACS es similar a los interfaces digitales de otros sistemas de comunicación digital sin hilos, pero presenta dos notables diferencias: duplexado por división de la frecuencia (FDD) en lugar de TDD que utilizan los otros sistemas, y por otra parte el gran esfuerzo que han hecho para optimizar el rehuso de las frecuencias.

En el diseño original, cada frecuencia llevaba 10 time slots de usuario. La velocidad de codificación era de 32 kbits, con una estructura de supertrama para permitir tasas menores de codificación. La duración de la trama era de 2 ms.

La modulación era QPSK con detección coherente, la cual presenta substancialmente un rendimiento mucho mejor que el receptor basado en un discriminador que usaban en muchos sistemas digitales inalámbricos. Al igual que las interfaces digitales sin hilos, el WACS está diseñado para soportar detección de errores, pero no para FEC o ecualizador adaptativo. Además, WACS incluye RLL, servicio público portátil y PBX sin hilos.

Como parte del proceso de estandarización en los Estados Unidos relacionado con la reciente asignación de frecuencias cercana a los 20 Hz para PCS (Personal Communications Service) los atributos de WACS y PHS han sido combinados para crear un estándar industrial propuesto para PACS (Personal Access Communications Service). PACS se puede entender como una interfaz aire provisional para una parte de las licencias en el nuevo espectro de 20 Hz. PACS conserva muchos de los atributos que se designaron a WACS. El principal cambio incluye una reducción del número de timeslots de 10 a 8, y a la correspondiente reducción de la tasa de bits del canal y el ancho de banda, si bien hay un pequeño incremento en la duración de la trama. La modulación ha sido cambiada a  $\pi/4$  QPSK, pero se sigue usando detección coherente. En el resto de los atributos coinciden con los del interfaz WACS.

**5.1.7 COMPARATIVA ENTRE SISTEMAS DIGITALES INALÁMBRICOS Y SISTEMAS DIGITALES CELULARES.**

Como resumen, se ha visto que existen diferencias entre las interfaces aire en telefonía inalámbrica celular; lo que está claro es que aunque haya diferencias sustanciales entre ellos, tienen un gran número de características en común, las cuales los hacen distintos de los sistemas de comunicación móviles digitales. En general, los sistemas inalámbricos digitales están optimizados para equipos de baja complejidad y una alta calidad de voz en un envío casi estático (con respecto a la movilidad del usuario). Por lo contrario los sistemas móviles digitales están creados para maximizar la eficiencia del ancho de banda y el rehuso de frecuencias en macrocélulas.

En la siguiente tabla podemos apreciar algunas de las diferencias existentes entre estos dos tipos de sistemas:

<i>CARACTERÍSTICAS</i>	<i>Inalámbricos Digitales</i>	<i>Móviles digitales</i>
<i>Tamaño de la célula</i>	<b><i>Pequeño (50 a 500 m)</i></b>	<b><i>Grande (de 0,5 a 30 km)</i></b>
<i>Elevación de la antena</i>	<b><i>Baja (15 m o menos)</i></b>	<b><i>Alta(más de 15m)</i></b>
<i>Movilidad</i>	<b><i>Baja (6 km/h o menos)</i></b>	<b><i>Alta (más de 250 km/h)</i></b>
<i>Cobertura</i>	<b><i>Zonal</i></b>	<b><i>Área ancha continua</i></b>
<i>Complejidad del auricular</i>	<b><i>Baja</i></b>	<b><i>Moderado</i></b>
<i>Complejidad de la base</i>	<b><i>Baja</i></b>	<b><i>Alto</i></b>
<i>Acceso espectral</i>	<b><i>Compartido</i></b>	<b><i>Exclusivo</i></b>
<i>Potencia de trx. auricular</i>	<b><i>de 5 a 10 mW</i></b>	<b><i>de 100 a 600 mW</i></b>
<i>Duplexado</i>	<b><i>TDD</i></b>	<b><i>FDD</i></b>
<i>Codificación de voz</i>	<b><i>32 kb/s ADPCM</i></b>	<b><i>de 8 a 13 kb/s vocoder</i></b>
<i>Control de errores</i>	<b><i>CRC</i></b>	<b><i>FEC</i></b>
<i>Detección</i>	<b><i>Discriminador/diferencial</i></b>	<b><i>Coherente/diferencial</i></b>
<i>Mitigación multicamino</i>	<b><i>Diversidad antena (ope.)</i></b>	<b><i>Diversidad/edualizador/Rake</i></b>

*Tabla 5.5. Comparativa entre los sistemas celulares digitales y los sistemas inalámbricos digitales.*

## 5.2 Sistemas Punto a Multipunto.

### 5.2.1 DESCRIPCIÓN, TIPOS Y CARACTERÍSTICAS.

Este tipo de sistemas, también denominados de acceso inalámbrico de banda ancha son capaces de proporcionar servicios de banda ancha tales como voz, datos, internet de alta velocidad o vídeo bajo demanda a los usuarios finales. Ofrecen un rápido despliegue del bucle de abonado vía radio (red radio desde el terminal de abonado a la central de conmutación).

Estas redes, por su estructura de costes, flexibilidad y rapidez de despliegue, ofrecen a los nuevos operadores de servicios, uno de los medios más rápidos de entrar en el mercado de las telecomunicaciones y para los operadores ya establecidos, un medio de extender nuevos servicios de valor añadido.

La infraestructura de un sistema de acceso fijo inalámbrico consiste en un conjunto de estaciones base distribuidas en la zona que se pretende cubrir de forma que alrededor de cada una de ellas se agrupan emplazamientos de usuarios. Tanto las estaciones base como los equipos de usuario (CPE's, *Customer Premise Equipment*) tienen una antena que les permite enviar y recibir señales pudiéndose establecer comunicaciones bidireccionales entre ambos.

Los sistemas de acceso fijo inalámbrico son sistemas de estructura celular. El radio de la célula viene dado por la disponibilidad del enlace, y por la región climática en la se quiera desplegar la red, ya que la lluvia es un factor crítico para los que trabajan en las bandas de frecuencia más altas. La planificación de una red de este tipo se basa en estrategias de reutilización de frecuencias para conseguir minimizar los niveles de interferencia entre canales y sectores adyacentes.

El CPE contiene una antena muy direccional que apunta a la estación base que le corresponde. La estación base contiene una antena omnidireccional o varias sectoriales que le permiten reutilizar la frecuencia y aumentar la capacidad de la red.

Una de las peculiaridades más importante de estos sistemas es que debe existir visibilidad directa entre la antena de la estación base y la antena del CPE, por ello, se suelen situar dichas antenas en los tejados de los edificios o sobre mástiles en las azoteas, puesto que en caso contrario el receptor no recibiría señal.

Las bandas en las que operan estos sistemas son:

- **La banda baja situada en 3,5 GHz** permite el uso de sistemas de media capacidad destinados al mercado residencial alto.
- **Las bandas más altas, que van de 24 a 40 GHz**, permiten el uso de sistemas de alta capacidad para atender las necesidades del mercado de la pequeña y mediana empresa, así como, a las grandes corporaciones.
- En algunos países también se ha asignado **la banda de 10,5 GHz** para el acceso inalámbrico de banda ancha.

La tabla recoge las principales características de este tipo de sistemas.

<i>PARÁMETRO DE ESTUDIO</i>	<i>BWA</i>	<i>LMDS</i>	<i>MVDS</i>
<i>Banda de frecuencias</i>	<i>3,4-3,8GHz</i>	<i>24-26GHz 28-31GHz</i>	<i>40,5-42,5GHz</i>
<i>Potencia transmisión BTS (PIRE)</i>	<i>25W</i>	<i>2-10W</i>	<i>1W</i>
<i>Potencia transmisión CPE (PIRE)</i>	<i>5-25W</i>	<i>10-300W</i>	<i>10W</i>
<i>Modulación</i>	<i>QPSK</i>	<i>QPSK/QAM</i>	<i>QPSK</i>
<i>Cobertura de las BTS</i>	<i>4-17km</i>	<i>1-5km</i>	<i>1km</i>

Tabla 5.6. Características típicas de los sistemas de acceso fijo inalámbrico.

### **5.2.2 BWA. BROADBAND WIRELESS ACCESS.**

Los sistemas BWA surgieron en los años 70 como una forma alternativa al cable para transmitir las señales de televisión. Actualmente, y dadas sus capacidades, los sistemas BWA se utilizan para la transmisión de voz y datos, acceso a Internet, y otros servicios interactivos ya que el BWA establece comunicaciones bidireccionales entre las estaciones base y los usuarios. La banda de trabajo de estos sistemas es 3,4-3,6 GHz.

Los equipos de usuario (CPE's, *Customer Premise Equipment*) están formados por una unidad exterior de RF integrada con una antena parabólica tipo parrilla muy directiva. La unidad de RF consiste en un transmisor, transmitiendo una portadora con una potencia de 100 mW. La cobertura de las células es de unos 15 km.

Dos tecnologías han alterado la situación de los sistemas BWA considerablemente:

- La disponibilidad de equipos de compresión digital a coste relativamente bajo.
- La disponibilidad de sistemas de acceso con ancho de banda compartido para la transmisión (bidireccional de datos).

Esta tecnología ha permitido:

- Multiplicar la capacidad de los sistemas de BWA de 31 a 155 canales.
- Uso de esquemas de modulación más eficientes espectralmente, tipo 64 QAM, que permite 30 Mbps por cada canal de 6 MHz.
- Uso de formatos de modulación QPSK y DQPSK para el canal de retorno.
- Proporcionar servicios de acceso rápido a Internet a pequeñas y medianas empresas y a usuarios residenciales.
- Posibilidad de utilizar estos sistemas para transmitir voz sobre IP.

### **5.2.3 LMDS. LOCAL MULTIPOINT DISTRIBUTION SERVICE.**

Los sistemas LMDS son sistemas de comunicación y radiodifusión basados en tecnologías de alta capacidad que funcionan en bandas milimétricas. Aunque inicialmente se utilizaron como medio de transmisión de la televisión multicanal (distribución de la TV analógica), en la banda 27,5-29,5 GHz, posteriormente se autorizó su uso para comunicaciones bidireccionales punto a multipunto.

Los sistemas LMDS son sistemas de estructura celular. En España se han autorizado el uso de las bandas entre 24 y 26 GHz y está previsto el uso de nuevas bandas entre 29 y 31GHz. La cobertura típica de las células de unos 5 km.

Estos sistemas permiten:

- Difusión de nuevos servicios de banda ancha como el comercio electrónico, la teleeducación y la medicina.
- Velocidades de transmisión de 1Mbps típicas hasta 25 Mbps como posibles en el enlace ascendente. En el enlace descendente las velocidades pueden ser de unos 36 Mbps.
- El área de las células varía entre 2-20 km<sup>2</sup>.

### **5.2.4 MVDS. MULTIPOINT VIDEO DISTRIBUTION SYSTEM.**

Se trata, al igual que el sistema LMDS, de un sistema de comunicación diseñado para la televisión de pago, la difusión de vídeo y servicios de voz y datos interactivos. Opera en la banda de 40,5-42,5 GHz. Esta banda, será compartida entre dos o más operadores, limitando el espectro disponible a 500-2000 MHz con dos polarizaciones. El radio de la célula suele ser inferior a 1 km. El potencial de este tipo de sistemas reside en el elevado ancho de banda de que disponen, parecido al de la fibra óptica, de unos 4 GHz, y en su viabilidad económica en zonas rurales frente al cable.

### **5.2.5 ESTACIONES BASE.**

La estación base está compuesta por la estación base radio (RBS, *Radio Base Station*) y la estación base digital (DBS, *Digital Base Station*). La figura representa el esquema general de una estación base.

La RBS permite comunicaciones radio con las estaciones terminales. Incluye los elementos de canalización del enlace radio y las antenas sectoriales. El área de influencia de una estación base se cubre básicamente con antenas de haces horizontales de 15, 45 y 90°. La DBS es la interfaz entre la red y los elementos de radio.

- Estos sistemas exigen visibilidad directa entre estaciones base y estaciones de usuario, lo que obliga a elevarlas sobre la zona de acceso público o a situarlos en los bordes de las azoteas.
- Utilizan antenas muy directivas en el plano vertical, reduciendo la radiación hacia el suelo.
- Se instalan de modo que no se produzca reflexión sobre superficies próximas, por lo que no se incrementan los campos recibidos por la posible superposición de campo reflejado.

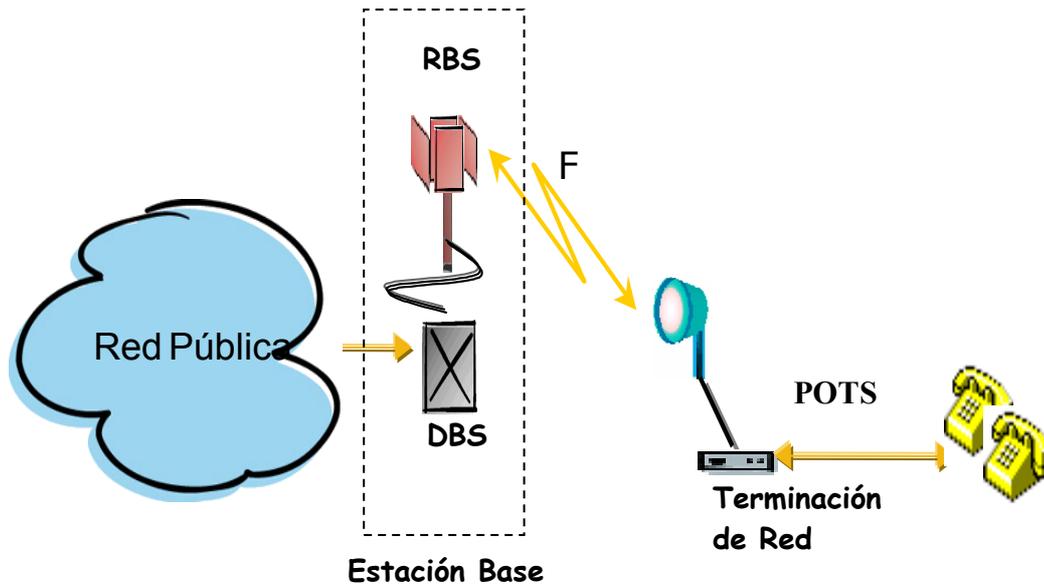


Figura 5.7. Estructura de una estación base.

A modo de ejemplo, considerando los datos de dos estaciones base típicas:

#### Estación BWA

- Frecuencia: 3,5 GHz.
- Dimensión vertical de la antena: 0,75 m.
- Dimensión horizontal de la antena: 0,083 m.
- Anchura del haz vertical (-3dB): 7°.
- Nivel de lóbulos secundarios: -25 dB.
- Inclinación del haz vertical de la antena: -4°.
- PIRE máxima: 25 W.
- Altura de la antena al suelo: 2,5, 3 y 3,5 metros.

#### Estación LMDS

- Frecuencia: 26 GHz.
- Dimensión vertical de la antena: 0,36 m.
- Dimensión horizontal de la antena: 0,22 m.
- Anchura del haz vertical (-3dB): 3,5°.
- Nivel de lóbulos secundarios: -30 dB.
- Inclinación del haz vertical de la antena: -4°.
- PIRE máxima: 10 W.
- Altura de la antena al suelo: 2,25, 3 y 3,5 metros.

### **5.2.6 TERMINAL.**

La estación terminal es la que contiene el equipo de usuario y consiste en la terminación radio (RT, *Radio Termination*) y la terminación de red (NT, *Network Termination*). La RT incluye la antena transmisora y receptora direccional y la unidad de radiofrecuencia. La antena de usuario proporciona directividad y ganancia al sistema. La unidad de radiofrecuencia es bidireccional permitiendo el acceso a la estación base. La NT proporciona la interconexión a la terminación radio. Es la interfaz entre los datos modulados del canal radio y el equipo terminal del usuario final.

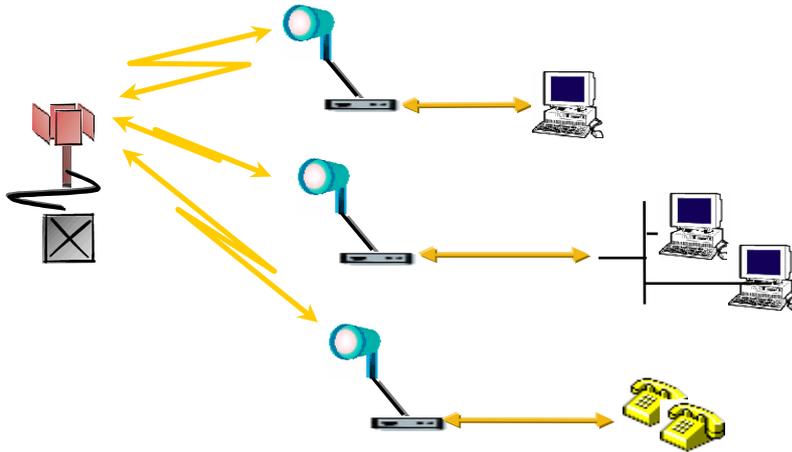


Figura 5.8. Esquem **Estación Terminal** acceso fijo inalámbrico.



Figura 5.9. Ejemplos de terminales de sistemas de acceso fijo inalámbrico.

Los diagramas de radiación son más directivos (antenas de apertura circular de uno a dos pies de diámetro), con diagramas tipo pincel de 2 a 3° de anchura de haz.

A modo de ejemplo, considerando los datos de dos equipos de usuario típicos:

#### **CPE BWA**

- Frecuencia: 3,5 GHz.
- Diámetro de la antena: 0,5 m.
- Anchura del haz vertical (-3 dB): 12°.
- Nivel de lóbulos secundarios: -25 dB.
- Inclinación del haz vertical de la antena: 0°.
- PIRE máxima: 25 W.
- Altura de la antena al suelo: 2,25, 3 y 3,5 metros.

#### **CPE LMDS**

- Frecuencia: 26 GHz.

- Diámetro de la antena: 0,32 m.
- Anchura del haz vertical (-3 dB): 2,2°.
- Nivel de lóbulos secundarios: -30 dB.
- Inclinación del haz vertical de la antena: 0°.
- PIRE máxima: 100 W.
- Altura de la antena al suelo: 2,15, 2,5 y 3 metros.

### **5.2.7 APLICACIONES.**

El sistema PMP tiene una amplia gama de aplicaciones, sea como red de transporte o como red de acceso.

#### **Sistema PMP utilizado como red de transporte.**

- Realización de conexiones BTS-BSC mediante canales Nx64 kbit/s asignados.
- Extensión o completamiento de sistemas de telefonía DECT.

#### **Sistema PMP utilizado como red de acceso.**

- Sistemas de redes telefónicas datos y telefonía de alta calidad en los cuales son fundamentales los requisitos de sencillez o de velocidad de instalación (por ejemplo: sistemas telefónicos en ferias, exposiciones, congresos, manifestaciones deportivas).
- Redes de transmisión de datos y telefonía de elevada calidad en sistemas telefónicos celulares fijos.
- Redes de transmisión de datos y telefonía de elevada calidad y alta flexibilidad en sistemas de supervisión.
- Conexiones telefónicas en regiones en vías de desarrollo o con baja concentración de usuarios donde se considere dispendioso un cableado capilar.
- Expansión de redes telefónicas en zonas rurales, periféricas o de acceso dificultoso, como alternativa a líneas de mantenimiento oneroso.
- Backup de redes existentes.



## Capítulo 6. El entorno regulador de las comunicaciones móviles.

<b>Capítulo 6. El entorno regulador de las comunicaciones móviles.....</b>	<b>169</b>
<b>6.1. Introducción.....</b>	<b>170</b>
<b>6.2. Reglamentación de las Comunicaciones Móviles en la U.E. ....</b>	<b>171</b>
6.2.1. LOS PROGRAMAS DE 1.980 Y 1.984.....	171
6.2.2. EL PROGRAMA DE 1.987.....	172
6.2.3. EL PROGRAMA DE 1.993.....	172
6.2.4. EL PROGRAMA DE 1.995.....	173
6.2.5. EL PROGRAMA DE 1.998.....	174
<b>6.3. Reglamentación de las Comunicaciones Móviles en España. ....</b>	<b>175</b>
6.3.1. MARCO GENERAL DE LA LEY DE ORDENACIÓN DE LAS TELECOMUNICACIONES (LOT). ....	175
6.3.2. CONCESIÓN DE LAS LICENCIAS DE GSM. ....	176
6.3.3. DCS 1800 Y TERCERA LICENCIA. ....	176
6.3.4. UMTS. ....	176
6.3.5. LA LEY GENERAL DE TELECOMUNICACIONES (LGT). ....	177
6.3.6 REAL DECRETO 1066/2001, DE 28 DE SEPTIEMBRE.....	178

## 6.1. Introducción.

En la primera parte del capítulo se pretende analizar la evolución y la situación actual del marco normativo y reglamentario de las comunicaciones móviles en la Unión Europea y España. Recordemos que nuestro país no camina solo en esta línea (el GSM por ejemplo es un estándar paneuropeo) y por tanto no podemos pasar por alto el marco europeo de regulación en el sector que nos ocupa.

Por lo que respecta a la Unión Europea, nos centraremos en los siguientes aspectos:

- **Liberalización.** Permitir la prestación de los servicios de radiocomunicaciones en libre competencia. Se pretendía implantar la plena competencia en el sector a partir de 1.998, por ello dos años antes (1.996) los servicios de telefonía móvil están sometidos a la libre competencia en las condiciones establecidas por la U.E.
- **Armonización.** Hacer posible la implantación de servicios paneuropeos. El GSM fue considerado idóneo para tal fin.
- **Normalización.** Impulsar el desarrollo de servicios paneuropeos y garantizar la compatibilidad de los terminales, mediante el desarrollo de Normas y Reglamentaciones Técnicas Comunes.
- **Medidas correctoras.** Garantizar el Servicio Universal de Telecomunicaciones. Actualmente el Servicio Universal alcanza a la telefonía vocal a través de las redes fijas, no estando considerado el servicio de telefonía móvil como S.U. No obstante, las empresas de servicios de telefonía móvil pueden ser obligadas a participar en la financiación del S.U.

Los iremos analizando a través de los diferentes programas de Telecomunicaciones (1.980-84, 1.987, 1.993, 1.995 y 1.998).

Por lo que respecta a nuestro país veremos el Marco General de la Ley de Ordenación de las Telecomunicaciones (L.O.T) y La Ley General de Telecomunicaciones (L.G.T.) analizando también la concesión de licencias GSM.

## 6.2. Reglamentación de las Comunicaciones Móviles en la U.E.

### 6.2.1. LOS PROGRAMAS DE 1.980 Y 1.984.

Estos programas fueron las primeras intervenciones de las Instituciones comunitarias en materia de Telecomunicaciones. Hasta aquel momento no se cuestionaban los monopolios en la gestión de los servicios. Se sentaron las bases para la introducción de forma coordinada de los nuevos servicios, entre ellos las comunicaciones móviles.

Destacaremos la cronología de las principales actividades llevadas a cabo por la *Conférence Européenne des Postes et Télécommunications* (CEPT), foro de estandarización de Correos y Telecomunicaciones, para desarrollar el sistema GSM:

- **1.982.** La CEPT crea el Grupo de Trabajo GSM (Groupe Spécial Mobile) para el desarrollo de la telefonía móvil celular. Propone las bandas de frecuencias de entre 890 y 915 MHz. y entre 935 y 960 MHz para este servicio.
- **1.985.** Se llega al acuerdo de que el servicio GSM utilice técnicas digitales de radiocomunicaciones.
- **1.987.** Se llega a un acuerdo acerca de las técnicas de codificación a utilizar. Se firma el *Memorandum of Understanding* (GSM - MOU).
- **1.989.** La CEPT transfiere al Instituto Europeo de Normas de Telecomunicaciones (ETSI) las tareas de elaboración de las especificaciones GSM, que se publicarían un año después en su primera fase.

De acuerdo con la Recomendación del Consejo sobre armonización de las telecomunicaciones (Programa de 1.984), se ordena a los estados miembros reservar, exclusivamente para el mencionado servicio, las bandas de frecuencias (propuestas por la CEPT en 1.982) entre 905 y 914 MHz. y entre 950 y 959 MHz. Asimismo, se ordena a los estados miembros preparar los planes para destinar lo antes posible a este servicio, las bandas de frecuencias entre 890 y 915 MHz. y entre 935 y 960 MHz.

El Consejo recomienda a los estados miembros la introducción, de forma conjunta del sistema GSM, en el marco de los trabajos de la CEPT. Se especifican las características del sistema, en los siguientes aspectos:

- Sistema de transmisión.
- Arquitectura de red.
- Interfaces y Servicios.
- Señalización.
- Tarifas y Cobertura Geográfica.

### **6.2.2. EL PROGRAMA DE 1.987.**

Con este Programa se inicia el proceso de liberalización de los mercados de Equipos y Servicios de Telecomunicaciones en la entonces Comunidad Europea. El principio básico de este Programa era la aplicación al sector de las Telecomunicaciones de la libre circulación de Mercancías y Servicios, de acuerdo con el Artículo 8 A del Tratado de Roma.

La liberalización de las Telecomunicaciones suponía una cesión de soberanía de los Estados miembros a favor de las Instituciones Europeas y en particular de la Comisión. En este Programa se creó el Instituto Europeo de Normas en Telecomunicaciones, ETSI.

Destaca en la cronología de este programa la creación del **Libro Verde sobre Terminales y Servicios**, en 1.987, cuyos objetivos son argumentar la necesidad de liberalizar las Telecomunicaciones en la UE, y sobre todo proponer un programa para la apertura a la competencia, de forma progresiva, del mercado de los equipos y servicios de telecomunicaciones, con arreglo a las siguientes propuestas de actuación:

- Mantenimiento de derechos exclusivos en la explotación de infraestructuras.
- Mantenimiento de derechos exclusivos en determinados servicios.
- Oferta sin restricciones del resto de los servicios.
- Exigencia del cumplimiento de normas en las infraestructuras.
- Definición de exigencias para el uso de redes impuestas por las Administraciones a las empresas de servicios. Desarrollo de la ONP.
- Oferta libre de equipos terminales en y entre estados miembros.
- Separación de actividades de Reglamentación y Explotación de redes y servicios.

En los años siguientes al Programa del 87 tuvieron lugar los siguientes eventos:

- **1.988.** Directiva de la Comisión sobre la liberalización de los Terminales.
- **1.990.** Directiva de la Comisión sobre la liberalización de los Servicios. Directiva Marco ONP.
- **1.991.** Entrada en vigor de la Directiva sobre Terminales.
- **1.992.** Entrada en vigor de la Directiva sobre Servicios.

En este Programa también tuvieron lugar diferentes directivas sobre el sistema DECT y la radiobúsqueda.

### **6.2.3. EL PROGRAMA DE 1.993.**

Este Programa estuvo fuertemente caracterizado por la revisión de la situación de las telecomunicaciones mediante la consulta a los agentes del sector. Igualmente se analizaron las comunicaciones móviles que habían quedado excluidas de las actuaciones anteriores. En 1.993 quedó aprobado el calendario de actuaciones hasta 1.998, año de la liberalización definitiva del sector.

#### **6.2.4. EL PROGRAMA DE 1.995.**

Veamos primeramente los hitos cronológicos correspondientes:

- **1.994.** Libro Verde sobre las comunicaciones móviles y personales. Informe "Europa y la Sociedad Global de la Información" de Bangemann. Libro Verde sobre las infraestructuras.
- **1.995.** Resolución del Consejo sobre comunicaciones móviles y personales en la Unión Europea.
- **1.996.** Aplicación de la Directiva de la Comisión 90/388/CEE a satélites, servicios móviles y redes de cable.
- **1.998.** Implantación de la Plena Competencia al sector de las Telecomunicaciones.

La resolución llevada a cabo en 1.995 tuvo como objetivo dar respuesta a las propuestas de la Comisión como consecuencia del proceso de consulta sobre el Libro Verde. Por lo que respecta al contenido de la misma, el Consejo se hace eco de las propuestas de la Comisión y apoya los siguientes aspectos:

- Generalización de la competencia a los servicios móviles.
- No limitación del número de licencias, salvo por limitación de frecuencias.
- Competencia leal entre operadores.
- Eliminación de obstáculos normativos para la celebración de acuerdos entre operadores.

Otras disposiciones comunitarias que afectan a las comunicaciones móviles y personales son las siguientes:

- **Propuesta de Directiva ONP sobre Interconexión y Servicio Universal.** Se regulan los derechos de interconexión entre redes fijas y móviles para comunicaciones de voz y las actuaciones de los estados. El criterio es que los operadores lleguen a acuerdos voluntarios y que el Estado intervenga únicamente en caso de desacuerdo entre éstos.
- **Propuesta de Directiva ONP sobre Telefonía Vocal.** Se indica que las redes de comunicaciones móviles deberán estar exentas de cualquier contribución a los fondos del Servicio Universal.
- **Propuestas sobre concesión de licencias.** Se aboga por la concesión de autorizaciones genéricas que contemplen todos los servicios. Únicamente se concederían licencias específicas por limitación de frecuencias.

### **6.2.5. EL PROGRAMA DE 1.998.**

Este Programa se caracteriza por la consolidación del desarrollo del sector, la creación de la Sociedad de la Información y la Convergencia de los sectores audiovisual y de telecomunicaciones. Un nuevo libro verde, en este caso sobre la Política en materia del espectro radioeléctrico, se crea en este programa.

Comienzan en este programa las propuestas sobre UMTS, de acuerdo con el mercado y la UIT, con arreglo a la siguiente cronología:

- **Octubre 97.** Decisión sobre las frecuencias a emplear para UMTS.
- **Diciembre 97 – Enero 98.** Plan para concesión de licencias.
- **1.998.** Identificación de operadores.
- **Diciembre 99 – Enero 00.** Acuerdo en ETSI sobre la fase I de UMTS.
- **2.002.** Inicio de la comercialización de UMTS.

Tiene lugar en este programa la Directiva 99/5 relativa a los equipos de radio y a los equipos terminales de telecomunicaciones por radio. Supone una modificación de una directiva anterior, extendiendo su contenido a los equipos de radio y a los terminales móviles. Los aparatos que cumplan los requisitos esenciales llevarán el marcado CE, estableciéndose también los procedimientos de evaluación de conformidad.

Esta directiva supone un cambio de rumbo en la política comunitaria relativa a la reglamentación de los terminales de las redes de comunicaciones, limitando los requisitos esenciales a la protección de la salud y la compatibilidad electromagnética. Asimismo se exigirá la eficaz utilización del espectro radioeléctrico. La Comisión podrá definirse y exigir el cumplimiento de características para la protección de las redes, la protección de los datos, la intimidad, la garantía de acceso a los servicios de seguridad, la prevención del fraude etc.

## **6.3. Reglamentación de las Comunicaciones Móviles en España.**

### **6.3.1. MARCO GENERAL DE LA LEY DE ORDENACIÓN DE LAS TELECOMUNICACIONES (LOT).**

En la ley de 1.987 se establece que el servicio telefónico móvil automático forma parte de los servicios finales y que éstos se prestan en régimen de monopolio. En 1.992 tiene lugar la modificación de la LOT, con arreglo a los siguientes aspectos:

- Los servicios de telefonía móvil automática se consideran servicios de valor añadido.
- Los servicios de valor añadido se prestan en régimen de libre competencia.
- El servicio de telefonía móvil automática seguirá teniendo la consideración de servicio final y seguirá prestándose en régimen de monopolio hasta el 31 de Diciembre de 1.993.

El Real Decreto 1486/1993, por el que se aprueba el Reglamento Técnico y de prestación del servicio de telecomunicación de valor añadido de telefonía móvil automática, establece las siguientes reglamentaciones:

- Se aprueba el Reglamento Técnico del servicio de telefonía móvil automática (GSM y analógica 450 y 900 MHz).
- Se otorga a Retevisión el título habilitante para la prestación del servicio portador, consistente en el suministro al concesionario del servicio de telefonía móvil automática (GSM) de redes o infraestructuras de telecomunicación.
- Igualmente se otorga a Telefónica de España SA. la concesión para la prestación en gestión indirecta este servicio portador.
- La concesión del Servicio GSM se otorgará por el procedimiento de concurso y llevará aparejada la concesión del dominio público radioeléctrico.
- La concesión se otorga por un plazo de 15 años prorrogables por un periodo de 5.
- Telefónica de España, como entidad habilitada para prestar el servicio de TMA como servicio final hasta el 31 de diciembre de 1.993, podrá solicitar la transformación de su título habilitante para la prestación del servicio GSM.
- Quedan definidos los elementos técnicos del operador del servicio GSM compuesto por los Centros de conmutación y control, así como las estaciones emisoras y receptoras.
- Indica que las partes de la red no incluidas en el artículo anterior, en concreto los servicios portadores, se cubrirán de acuerdo a lo dispuesto en la LOT, alquilando los servicios portadores.
- Se regulan las condiciones de interconexión con la red pública conmutada fija y entre redes móviles.
- Se establece una normativa para tarifas de uso de la red, interconexión entre redes y utilización de infraestructuras, pudiendo fijar la Administración las bandas de fluctuación de las mismas.

### **6.3.2. CONCESIÓN DE LAS LICENCIAS DE GSM.**

En noviembre de 1.994, el Consejo de Ministros acordó habilitar a Telefónica de España S.A. para prestar el servicio Digital GSM, por un período de 15 años prorrogables por un período de 5 años adicionales, mediante una sociedad filial (Movistar) y resolver antes del 31 de fin de año el concurso convocado para la concesión de la segunda licencia.

El 29 de diciembre de 1.994 fue adjudicada la concesión de la gestión indirecta del servicio de telecomunicaciones de valor añadido de telefonía móvil automática en su modalidad GSM a la sociedad Alianza Internacional de Redes Telefónicas S.A. (Airtel), así como la concesión del dominio público radioeléctrico necesario para prestar el servicio. Esto supone que ya se puede utilizar por primera vez un operador diferente a Telefónica o sus filiales para efectuar una llamada telefónica. Sin embargo, el monopolio en telefonía fija no se rompería hasta 1.998.

### **6.3.3. DCS 1800 Y TERCERA LICENCIA.**

El 24 de Julio de 1.997 queda modificado el Reglamento Técnico de prestación del servicio de telefonía móvil y se regula el servicio DCS-1800, con arreglo a los siguientes puntos:

- Se faculta a los titulares del servicio GSM a prestar el servicio de comunicaciones móviles DCS 1800, al mismo tiempo que el tercer operador.
- Se anuncia la convocatoria de una tercera licencia para el servicio DCS 1800 a partir de enero de 1.998.
- Airtel queda exenta de pago de derechos de licencia.
- Telefónica debe aplicar a Airtel una reducción de las cargas de interconexión por valor de 15.000 millones de pts. (90,15 millones de euros), entre 1.997 y 1.999.

Un año más tarde adjudica la concesión de la gestión directa del servicio de comunicaciones móviles personales DCS 1800 al consorcio Retevisión Móvil (Amena)<sup>1</sup>, debiendo las entidades integradas en el Consorcio adjudicatario constituirse en Sociedad Anónima y cumplir las condiciones del concurso.

### **6.3.4. UMTS.**

Mediante dos órdenes, el 10 de noviembre de 1.999 se aprobó el pliego de cláusulas administrativas particulares y de prescripciones técnicas, y se convocó el concurso público, por procedimiento abierto, para el otorgamiento de cuatro licencias individuales de tipo B2 para el establecimiento de la red de telecomunicaciones necesaria y para la explotación del servicio de comunicaciones móviles de tercera generación.

---

<sup>1</sup> Se presentó una segunda candidatura por parte del consorcio ALAS.

En Orden de 10 de marzo de 2.000 se resuelve el concurso público convocado para el otorgamiento de cuatro licencias individuales para la explotación del servicio de comunicaciones móviles de tercera generación a: Telefónica Servicios Móviles S.A., Airtel Móvil S.A., Retevisión Móvil S.A., Xfera Móviles S.A.

El impuesto de Licencia UMTS está establecido en 131.000.000 € y la duración de la misma es de 20 años.

Los operadores estaban obligados a ofrecer cobertura en todas las ciudades que superen los 250.000 habitantes por el 1 de agosto de 2.001, fecha prevista en un principio para que la 3G comience a funcionar. Por problemas de disponibilidad de tecnología, se aplaza el despliegue previsto para julio del 2.002.

### **6.3.5. LA LEY GENERAL DE TELECOMUNICACIONES (LGT).**

El 2 de abril de 1.998 se promulga la LGT, cuyo objetivo principal es la regulación de las telecomunicaciones. La LGT considera a las telecomunicaciones como servicios de interés general que se prestan en régimen de libre competencia.

Su contenido se refiere, fundamentalmente a:

- El régimen de prestación de servicios mediante la concesión de licencias individuales y autorizaciones generales.
- La interconexión entre redes y la numeración.
- Las obligaciones de servicio público de los Operadores.
- La evaluación de conformidad de equipos y aparatos.
- El uso del dominio público radioeléctrico.
- Las tasas en materia de telecomunicaciones.
- Las tareas de la Administración.

Dentro de su contenido, cabe destacar el Reglamento relativo a la Interconexión y al acceso a las redes públicas y a la numeración, mediante el cual se establece lo siguiente:

- Los titulares de redes públicas de telecomunicaciones estarán obligados a facilitar la interconexión de sus redes con las de todos los operadores de redes y prestadores de servicios telefónicos.
- Las condiciones de interconexión las acordarán los operadores.
- Los precios de interconexión los fijarán los operadores en función de los costes de la prestación.
- Los conflictos que se produzcan en relación con los acuerdos de interconexión se resolverán por la Comisión del Mercado de las Telecomunicaciones (CMT).
- Los usuarios podrán mantener su número cuando cambien de operador (portabilidad), incluida la red telefónica pública móvil.

También encontramos en la LGT un reglamento de Servicios Públicos, con el siguiente contenido:

- Se establece que podrán establecerse obligaciones de servicio público a los titulares de licencias y autorizaciones generales para la prestación de servicios de telecomunicaciones.
- **Servicio Universal.** conexión a la red telefónica fija y acceso a servicios de voz, fax y datos a 2400 bps.
- Contribuirán al Fondo para la financiación del servicio universal todos los operadores de servicios fijos, móviles y líneas alquiladas.
- **Servicios Obligatorios.** Servicios de líneas alquiladas y RDSI.
- **Otras obligaciones de servicio público.** Servicios para la extensión del uso de nuevos servicios y nuevas tecnologías a la educación, sanidad y cultura.

Por último se establece un Régimen aplicable a las licencias individuales para servicios y redes de telecomunicaciones y las condiciones que deben de cumplir los titulares, clasificando las licencias según el tipo asignado.

- **Tipo A.** Prestación de servicio telefónico fijo.
- **Tipo B.** Prestación del servicio telefónico y establecimiento de redes.
  - **Tipo B-1.** Prestación de servicio y establecimiento de red fija.
  - **Tipo B-2.** Prestación de servicio telefónico móvil y establecimiento de red pública telefónica móvil
- **Tipo C.** Establecimiento o explotación de una red de telecomunicaciones.
  - **Tipo C-1.** Establecimiento o explotación de una red fija.
  - **Tipo C-2.** Establecimiento o explotación de redes que utilicen el dominio público radioeléctrico: Redes terrenales o redes basadas en satélite.

#### **6.3.6 REAL DECRETO 1066/2001, DE 28 DE SEPTIEMBRE.**

Se aprueba el Reglamento que establece condiciones de protección del dominio público radioeléctrico, restricciones a las emisiones radioeléctricas y medidas de protección sanitaria frente a emisiones radioeléctricas.

Desde la introducción de manera generalizada de los servicios de radiodifusión de televisión y de radio, hace ya varias décadas, los ciudadanos han disfrutado en su vida cotidiana de los mismos, pero también se han visto sometidos inevitablemente a la exposición de campos electromagnéticos.

La introducción reciente de la competencia en el sector de las telecomunicaciones en España, se ha traducido en una mayor diversidad en la oferta de servicios de telecomunicaciones para empresas y ciudadanos, siendo esto particularmente apreciable en los servicios de telefonía móvil. Esta mayor diversidad de oferta de servicios de telecomunicaciones, y sus niveles de calidad y cobertura asociados, requiere la existencia de un elevado número de instalaciones radioeléctricas.

El Reglamento que se aprueba por este Real Decreto tiene, entre otros objetivos, adoptar medidas de protección sanitaria de la población. Para ello, se establecen unos límites de exposición del público en general a campos electromagnéticos procedentes de emisiones radioeléctricas, acordes con las recomendaciones europeas. Para garantizar esta protección se establecen unas restricciones básicas y unos niveles de referencia que deberán cumplir las instalaciones afectadas por este Real Decreto. Al mismo tiempo, se de respuesta a la preocupación expresada por algunas asociaciones, ciudadanos, corporaciones locales y Comunidades Autónomas.

El presente Real Decreto asume los criterios de protección sanitaria frente a campos electromagnéticos procedentes de emisiones radioeléctricas establecidos en la Recomendación del Consejo de Ministros de Sanidad de la Unión Europea, de 12 de julio de 1.999, relativa a la exposición del público en general a campos electromagnéticos.

Asimismo, esta Recomendación contempla la conveniencia de proporcionar a los ciudadanos información en un formato adecuado sobre los efectos de los campos electromagnéticos y sobre las medidas adoptadas para hacerles frente, al objeto de que se comprendan mejor los riesgos y la protección sanitaria contra la exposición a los mismos.

Este Reglamento establece unos límites de exposición, referidos a los sistemas de radiocomunicaciones, basados en la citada Recomendación del Consejo de la Unión Europea. Además, el Reglamento prevé mecanismos de seguimiento de los niveles de exposición, mediante la presentación de certificaciones e informes por parte de operadores de telecomunicaciones, la realización planes de inspección y la elaboración de un informe anual por parte del Ministerio de Ciencia y Tecnología.

Siguiendo la Recomendación 1999/519/CE del Consejo, de 12 de julio, relativa a la exposición del público en general a campos electromagnéticos, el Ministerio de Sanidad y Consumo elaborará, a los tres años de entrada en vigor de este Reglamento, un informe sobre las experiencias obtenidas en la aplicación del mismo, en lo referido a la protección frente a riesgos sanitarios potenciales de la exposición a las emisiones radioeléctricas.

### ***6.3.6.1 Medidas contempladas en el proyecto de Real Decreto.***

En el proyecto de Real Decreto se contemplan las siguientes medidas en relación con el respeto de los límites de exposición del público a las emisiones radioeléctricas:

- Todas las estaciones radioeléctricas deberán cumplir con los límites de exposición que figuran en el Real Decreto.
- Para la autorización de nuevas estaciones radioeléctricas soporte de servicios de radiodifusión sonora y de televisión, de telefonía móvil y de redes fijas de acceso radio, los operadores deberán presentar un **informe de cumplimiento de los límites de exposición** establecidos en el Real Decreto, que será **comprobado por los servicios de inspección** de este Ministerio, **de manera previa a la entrada en funcionamiento** de las estaciones.
- En el plazo de seis meses desde la entrada en vigor del Real Decreto, todas las estaciones radioeléctricas a las que se refiere el punto anterior que estén en funcionamiento, deberán haber sido certificadas como conformes con los límites de exposición establecidos en el Real Decreto.
- Los operadores de telefonía móvil y de redes fijas de acceso radio presentarán un informe anual de que no se han superado los límites de exposición establecidos en el Real Decreto.
- La Secretaría de Estado de Telecomunicaciones y para la Sociedad de la Información hará público un informe anual sobre la base de los resultados obtenidos en los programas de inspecciones y de los informes presentados por los operadores
- Ejecución de un **programa de inspecciones** de instalaciones radioeléctricas para el segundo semestre del año 2.001 y sucesivos. El programa de inspecciones incluirá una muestra representativa de instalaciones radioeléctricas, centrándose en las situadas en entornos urbanos, donde existe una mayor proximidad entre estaciones radioeléctricas y zonas de permanencia de los ciudadanos. A efectos de agilizar y aumentar el número de comprobaciones de emisiones radioeléctricas, se dotará de mayores medios materiales y humanos a los servicios de inspección.

Tal y como se recomienda en el estudio efectuado por el Comité de expertos liderado por el Ministerio de Sanidad y Consumo, se vigilará particularmente, por parte de los servicios de inspección del Ministerio de Ciencia y Tecnología, el cumplimiento de los límites de exposición contenidos en el Real Decreto en zonas que puedan ser consideradas como sensibles (por ejemplo, centros educativos, de salud o parques públicos).

#### **6.3.6.2 Plan de actuaciones complementarias.**

Para conseguir una mayor efectividad y alcance en la aplicación de las medidas contenidas en el proyecto de Real Decreto, se están diseñando las siguientes actuaciones:

- Establecimiento de un registro de acceso público con **información sobre los niveles de las emisiones** de las estaciones base de telefonía móvil que se encuentran en funcionamiento en España en entornos urbanos. De manera que los ciudadanos puedan tener conocimiento de las emisiones radioeléctricas con origen en las estaciones más cercanas a los lugares en los que permanezcan y desarrollen sus actividades.
- **Difusión de información**, a través de Internet y otros medios, sobre los siguientes aspectos:
  - **Certificaciones y estudios anuales** remitidos por los operadores en cumplimiento del Reglamento.
  - **Resultados de las inspecciones** de las instalaciones radioeléctricas efectuadas por la Secretaría de Estado.
  - Indicaciones sobre un correcto uso de los teléfonos móviles para minimizar la exposición a emisiones radioeléctricas.
  - **Información básica divulgativa** sobre emisiones radioeléctricas.
  - **Informe anual del Ministerio** de Ciencia y Tecnologías sobre exposición a emisiones radioeléctricas.
- **Adquisición de la instrumentación de medida** de laboratorio necesaria para verificar los **niveles de emisión de terminales móviles**.
- **Apoyo a los proyectos de investigación** sobre los efectos de las emisiones radioeléctricas en la salud.

#### **6.3.6.3 Informe del Ministerio de Sanidad y Consumo.**

El Ministerio de Sanidad y Consumo ha formado un Comité de expertos independientes de carácter multidisciplinar que ha elaborado un **estudio**, en el que se concluye que la exposición a campos electromagnéticos dentro de los límites recogidos en la Recomendación (1999/519/CE) del Consejo, de 12 de julio de 1999, relativa a la exposición del público en general a campos electromagnéticos, no ocasiona efectos adversos para la salud.

En lo que se refiere a los sistemas de telefonía móvil, el estudio concluye que, de acuerdo con la evidencia disponible hasta la fecha, con los valores actuales de potencia de emisión y a las distancias calculadas en función de los criterios de la citada Recomendación, las antenas y los teléfonos móviles no representan un peligro para la salud pública.

**6.3.6.4 Límites de exposición aplicados internacionalmente.**

Adicionalmente a los trabajos efectuados por el Comité de expertos liderados por el Ministerio de Sanidad a nivel nacional, también se han considerado las investigaciones, estudios y decisiones adoptadas en **los países de nuestro entorno**.

En primer lugar, hay que destacar que los límites de exposición a emisiones radioeléctricas para la protección de la salud recomendados por la **Comisión Internacional de Protección contra las Radiaciones No Ionizantes (ICNIRP)**, son los más ampliamente aceptados en nuestro entorno europeo. Esta Comisión está reconocida formalmente por la Organización Mundial de la Salud, que considera que las recomendaciones de la citada Comisión están basadas en un análisis cuidadoso de toda la literatura científica y ofrece protección contra todos los peligros identificados debidos a las emisiones radioeléctricas, con amplios márgenes de seguridad. (<http://www.who.int>)

Las propuestas de la Comisión ICNIRP se han recogido en la **Recomendación (1999/519/CE) del Consejo**, de 12 de julio de 1.999, relativa a la exposición del público en general a campos electromagnéticos, que se configura como elemento fundamental para la **armonización europea**, en la aplicación de límites de emisiones radioeléctricas para la protección de la salud de los ciudadanos, que son los que incorpora el Real Decreto. Valores que, como podemos apreciar en la siguiente tabla, también coinciden con el Comité Europeo de Normalización Electrotécnico (CENELEC).

<i>Organismo</i>	<i>Límite (mW/cm<sup>2</sup>)</i>
<i>CENELEC (Comite Européen de Normalization Electrotechnique)</i>	<b>0,45 a 900 MHz</b> <b>0,90 a 1800 MHz</b>
<i>ICNIRP (International Comission on No Ionizing Radiation Protection)</i>	<b>0,45 a 900 MHz</b> <b>0,90 a 1800 MHz</b>
<i>Recomendación del consejo de 12 de julio de 1999. Relativa a la exposición del público en general a campos electromagnéticos (0Hz-300 GHz) 199/519/CE</i>	<b>0,45 a 900 MHz</b> <b>0,90 a 1800 MHz</b>

*Tabla 6.1. Límites de emisión recomendados por diversos organismos.*

Los límites de exposición recogidos en la Recomendación del Consejo Europeo o la ICNIRP son los aceptados, al menos, en **Francia, Reino Unido, Alemania, Austria, Irlanda, Suecia, Finlandia, Turquía, Nueva Zelanda, Australia o Canadá**, resultando más exigentes que los establecidos en **Estados Unidos y otros países americanos**.

**6.3.6.5 Distancia de seguridad a una antena de estación base.**

Las antenas de las estaciones base sólo transmiten en unas direcciones determinadas. La distancia de seguridad depende, por tanto, de la dirección y del tipo de antena que se trate. En la dirección de máxima radiación (delante de la antena) la distancia de seguridad varía de 1 a 3 metros. En cualquier otra dirección (por ejemplo debajo de la antena) la distancia de seguridad es menor de 60 cm.. Cualquier obstáculo en el camino de la onda (como paredes o techos) atenúa enormemente el nivel de campo electromagnético, por lo que la distancia se reduce proporcionalmente (estas distancias dependen del emplazamiento).

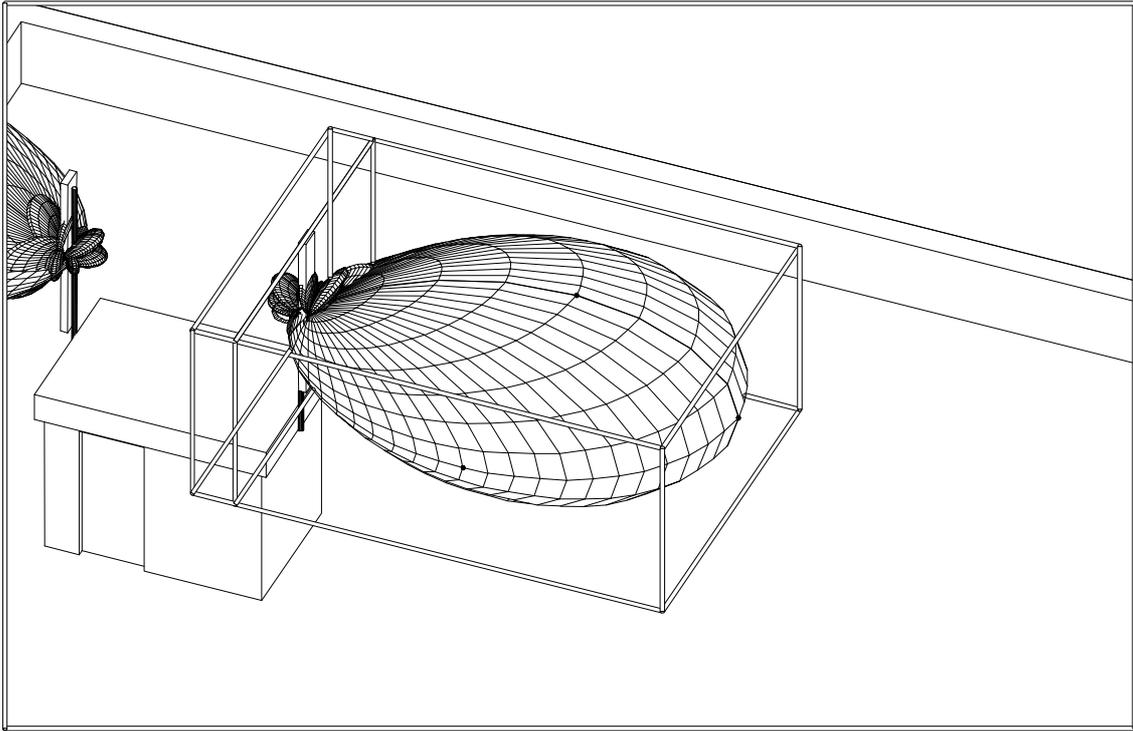


Figura 6.2. Diagrama de radiación de una antena típica de estación base.

En términos más sensibles, el volumen de seguridad queda definido por un paralelepípedo como el que se representa en la figura y cuyas longitudes se definen a partir de la posición del antena.

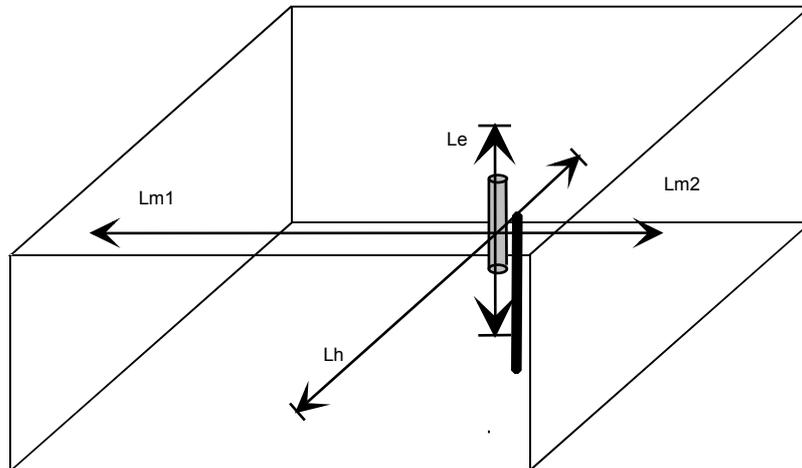
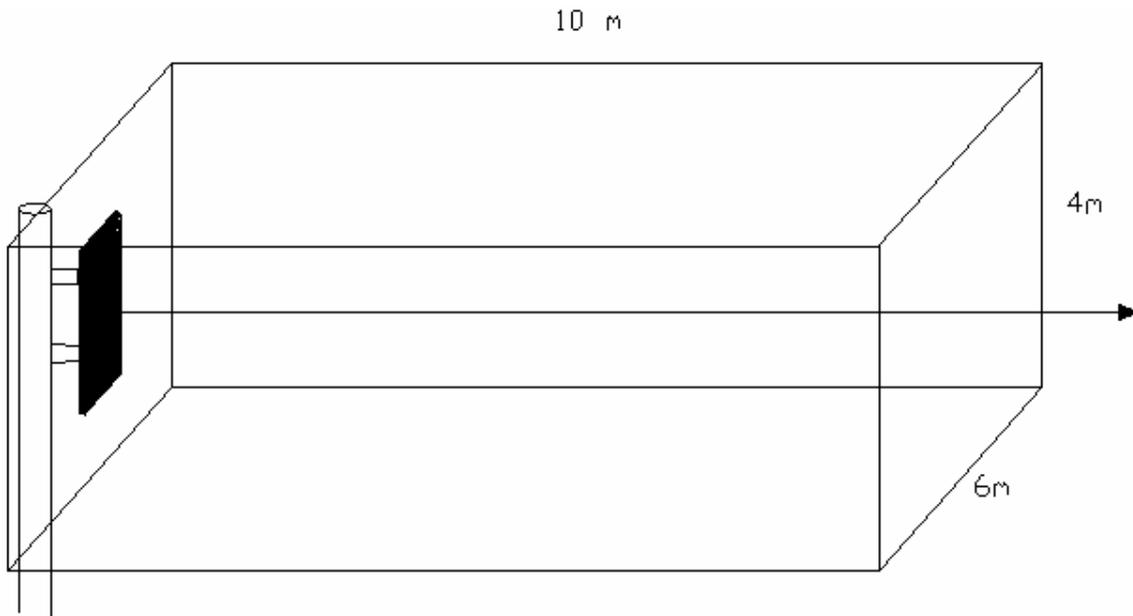


Figura 6.3. Volumen de seguridad de una antena de estación base.

Los valores típicos de esas longitudes en función de los límites de exposición fijados por la legislación son los siguientes:



*Figura 6.4. Valores típicos del volumen de seguridad.*

## Anexo 1. Señalización C7.

---

<b>Anexo 1. Señalización C7.....</b>	<b>185</b>
<b>A1.1 Conceptos generales de señalización.....</b>	<b>186</b>
<b>A1.2 Introducción a C7.....</b>	<b>187</b>
<b>A1.3 Estructura del sistema de señalización C7.....</b>	<b>188</b>
A1.3.1 MTP (MESSAGE TRANSFER PART).....	188
A1.3.2 UP (USER PARTS).....	188
A1.3.4 SCPP Y TCAP.....	189
<b>A1.4 Partes de usuario.....</b>	<b>190</b>
A1.4.1 TUP (TELEPHONY USER PART).....	190
A1.4.2 ISUP (INTEGRATED SERVICES DIGITAL USER PART).....	191
A1.4.3 MAP.....	191
A1.4.4 BSSAP.....	191
A1.4.5 INAP.....	191
<b>A1.5 Señalización en una red GSM.....</b>	<b>192</b>
A1.5.1 MAP.....	193
A1.5.2 BSSAP.....	193

## A1.1 Conceptos generales de señalización.

En el contexto de telefonía, señalizar implica la transferencia de información e instrucciones relevantes para el control y supervisión de conexiones telefónicas.

Tradicionalmente la señalización se ha dividido básicamente en dos tipos:

- Señalización del bucle de abonado.
- Es decir, señalización entre el terminal telefónico del abonado y la central local.
- Señalización entre centrales.

Es la señalización que nos va a ocupar. Esta señalización se transporta normalmente en uno de los TS de un enlace PCM, ya sea en asociación con un canal de voz o de forma independiente. Así, distinguimos dos tipos de señalización entre centrales:

- **CAS (Señalización por Canal Asociado).** En este tipo de señalización podemos hacer otro tipo de división:
  - **En Banda.** La información de señalización se incluye en el mismo canal de voz.
  - **Fuera de Banda.** Para la señalización se usa otro canal asociado al canal de voz. Este tipo de sistemas tiene una asociación fija entre el canal de señalización y los canales de voz a los que está señalizando. Además, la voz (o datos) y la señalización siempre siguen el mismo camino físico a través de la red. Un TS, el 16, señala los 30 canales de un enlace PCM.

Por último, puntualizar que este sistema de señalización está dejando de ser utilizado.

- **CCS (Señalización por Canal Común).** En este caso, un canal dedicado, completamente independiente y separado del canal de voz se usa para la señalización. Debido a la gran capacidad, un solo canal de señalización en CCS puede dar servicio a gran número de canales de voz, no sólo a los que se encuentran en el mismo enlace físico PCM. Además, la ruta física que sigue el canal de señalización no tiene por qué coincidir con la ruta de voz y datos. El sistema de señalización CCITT nº 7 pertenece a este tipo y es en el que nos centraremos a continuación.

## A1.2 Introducción a C7.

El sistema de señalización CCSS#7 es un conjunto de recomendaciones que definen los protocolos para la gestión interna de redes digitales. Fue elaborado por el Comité Consultivo Internacional de Telégrafos y Teléfonos (CCITT), y sus normas y definiciones han empezado a usarse como estándares en el mundo entero, sobre todo, en lo que se refiere a comunicaciones digitales.

El sistema de señalización C7 se pensó en un principio para redes digitales, nacionales o internacionales, donde se alcanzaban altas velocidades de transmisión (64 Kbps). Sin embargo, también puede usarse en líneas analógicas, especialmente en los trunks internacionales (CCITT SS N° 6). Además, fue inicialmente concebido para telefonía, pero posteriormente, evolucionó para ser utilizado en aplicaciones no telefónicas y no orientadas a conexión, por ejemplo, el diálogo entre dos nodos de red GSM.

Existe, por tanto, una clara necesidad de un sistema genérico de señalización que sea capaz de soportar una amplia gama de aplicaciones de telecomunicaciones. La variedad de aplicaciones está incrementando a medida que surgen nuevos sistemas de telefonía (redes GSM, ISDN, IN...).

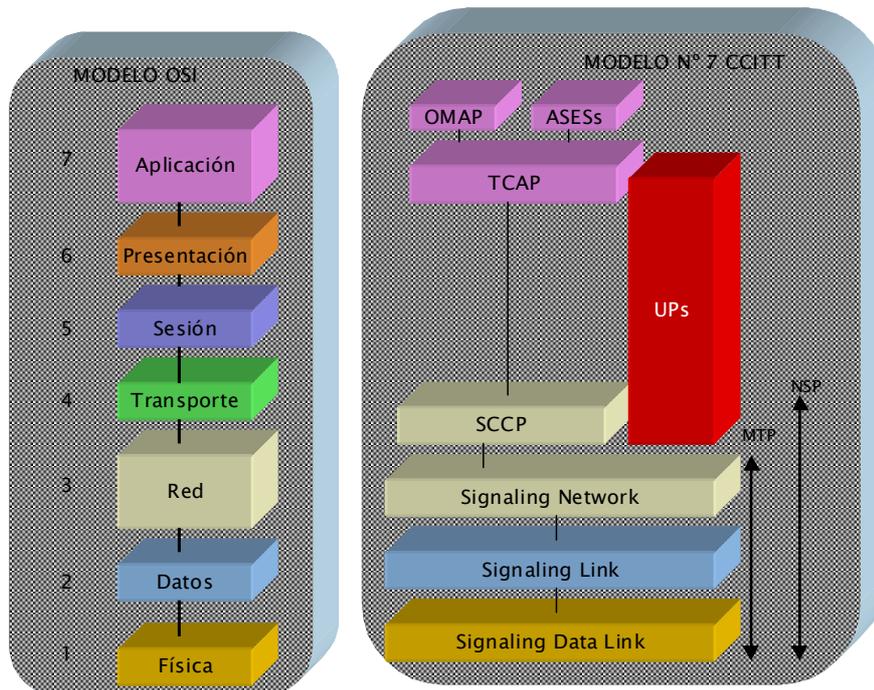


Figura A1.1. Comparación Modelo OSI Vs Modelo N°7 CCITT.

El CCITT no es el único organismo que crea estándares para señalización, OSI (Open Systems Interconnection), también ha trabajado en la estandarización de las comunicaciones digitales. De hecho, existen correspondencias (no del todo exactas) entre los niveles OSI y CCSS#7. En la figura que se muestra a continuación podemos ver esta relación.

La comunicación entre funciones tiene lugar siempre en el mismo nivel, de acuerdo al protocolo de comunicación para ese nivel en concreto. Sólo las funciones del mismo nivel pueden entenderse entre ellas.

En CCSS#7 los mensajes de control son intercambiados entre diferentes nodos. Estos mensajes de control son utilizados entre los nodos relevantes de la red para la gestión de las llamadas (establecimiento, mantenimiento, finalización etc..).

C7 es un sistema de señalización de conmutación de paquetes. Agiliza el tiempo de establecimiento de la llamada y mejora la eficiencia del enlace enviando información de señalización para numerosos circuitos de voz en pocos enlaces de señalización a alta velocidad.

En C7, un terminal de señalización (ST) en una central envía información de señalización a otro ST en otra central sobre un canal dedicado de señalización. Este canal es uno de los Time Slot de un enlace PCM.

## **A1.3 Estructura del sistema de señalización C7.**

### **A1.3.1 MTP (MESSAGE TRANSFER PART).**

CCS7 está estructurado en partes de usuario (UP), que contienen funciones para tratar la información de señalización antes y después de ser transmitida por la red. Todas ellas comparten la parte de Transferencia de mensajes (MTP), que tiene su equivalencia con la estructura del modelo OSI.

- **Nivel 1.** Hace referencia al nivel físico, es decir, al enlace de datos de señalización. En los sistemas digitales consiste en un canal a 64 kbps de un sistema PCM.
- **Nivel 2.** En este nivel están incluidas las funciones de enlace de datos. Estas incluyen detección de errores y su corrección para asegurar la transmisión fiable de mensajes de señalización sobre el enlace de datos de señalización.
- **Nivel 3.** Es el nivel de red y sus funciones están implementadas en SW central y están divididas en dos categorías:
  - **Funciones de manejo de mensajes de señalización (manejo de tráfico)** las cuales aseguran que los mensajes de señalización alcanzan las direcciones correctas.
  - Funciones de gestión de la red de señalización, que gestionan los fallos de la red de señalización.

### **A1.3.2 UP (USER PARTS).**

Las partes de usuario generan mensajes de señalización para aplicaciones particulares de la red. Por ejemplo, ISUP (Integrated Services Digital User Part) genera mensajes de señalización para soportar RDSI (Red Digital de Servicios Integrados o ISDN). Estos mensajes de señalización son transportados por MTP.

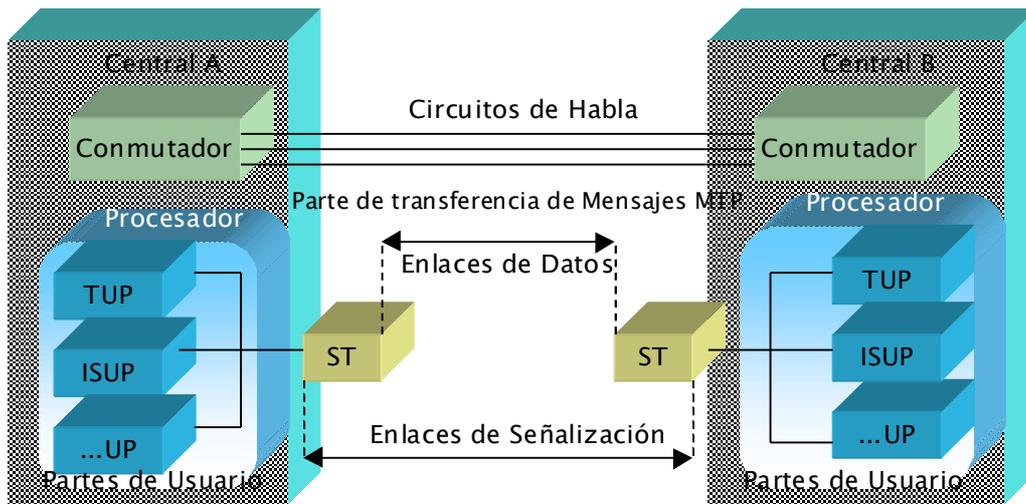


Figura A1.2 Partes de Usuario.

### A1.3.4 SCPP Y TCAP.

SCCP (Parte de Control y Conexión de señalización) y TCAP (Parte de aplicación de Capacidades de transacción) proporcionan funcionalidades adicionales a MTP.

#### *A1.3.4.1 SCPP.*

Las partes de usuario como TUP usan los servicios de MTP para transportar mensajes de señalización que controlan las llamadas. Algunas aplicaciones pueden requerir la transferencia de mensajes de señalización que no tienen relación alguna con un circuito en particular. Tal es el caso de la validación de una tarjeta de crédito en Red Inteligente. SCCP suplementa las capacidades de transporte de mensajes de MTP para que ambas señalizaciones (relativas y no relativas a circuito) puedan ser soportadas.

Otro propósito de SCCP es proveer servicios de red orientados y no orientados a conexión (MTP solo ofrece servicios no orientados a conexión).

#### *A1.3.4.2 TCAP.*

La parte de aplicación de la capacidad de transacción usa SCCP y MTP para proporcionar soporte de señalización a las aplicaciones interactivas distribuidas en la red. Ejemplos de aplicaciones que usan TCAP son:

- **Telefonía móvil celular**, para el acceso a bases de datos que guardan información sobre la localización del abonado (HLR, VLR).
- **Red Inteligente**, para acceder al Punto de Control de Conmutación (SCP), una base de datos que guarda los programas para la ejecución de servicios de RI, tales como el servicio 900.
- **Aplicaciones de Operación y Mantenimiento.**

Al igual que SCCP y MTP, TCAP es independiente de las aplicaciones. Ofrece servicios a partes dependientes de aplicación. Algunos ejemplos de partes dependientes de aplicación son INAP (parte de aplicación de red inteligente), MAP (Parte de Aplicación de Móviles), BSSAP (Parte de Aplicación de Sistemas de Estaciones Base).

## A1.4 Partes de usuario.

### A1.4.1 TUP (TELEPHONY USER PART).

Define las funciones de señalización necesarias para el uso de SS7 en el control de una llamada telefónica internacional. Este sistema de señalización también es adecuado para aplicaciones telefónicas nacionales.

TUP está especificado en las recomendaciones del CCITT Q.721 y Q.725. Los mensajes de señalización TUP son transportados sobre las SUs (Signaling Units). La información de señalización se incluye en el campo SIF de la MSU (Message Signalling Unit).

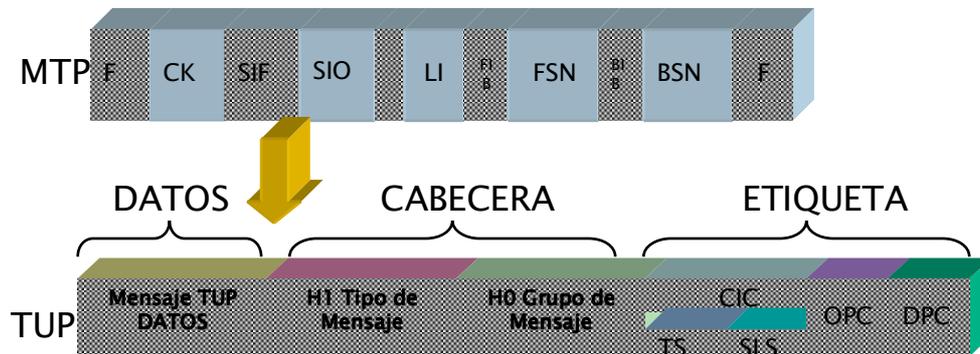


Figura A1.3. Esquema de una trama MTP y TUP.

Este campo SIF contiene tres partes fundamentales:

- **Label.** Consta de OPC, DPC, CIC. Para mensajes que están relacionados con circuitos o llamadas, la transacción se identifica incluyendo la correspondiente entidad de circuito en el Label. El CIC (Circuit Identity Code) identifica un circuito de voz o de datos. Cada CIC equivale a un TS de una línea PCM, e interconectan dos SP (Signalling Point), el origen identificado por el OPC (Origin Point Code) y el destino por el DPC (Destination Point Code).
- **Heading.** Los mensajes de telefonía se dividen en grupos, identificados por un código de cabecera, el H0. Los nombres de los grupos de mensajes identifican el área de aplicación de los mismos. Dentro de un grupo, los mensajes se identifican por el código de cabecera H1.
- **Data.** En este campo se incluye la información del mensaje TUP.

Veamos las funciones principales de TUP.

- Control del procedimiento de señalización.
- Chequea a qué red de señalización pertenece un mensaje.
- Comprueba si el mensaje está relacionado con un circuito o no. Si lo está comprueba a qué circuito pertenece. Siempre con la ayuda de los campos OPC, DPC y CIC en el Label.
- Chequea el estado del circuito.
- Determina el tipo de mensaje de señalización en base al valor de campo SIF.
- Control del procesamiento de llamadas.

- En el caso del receptor, este interpreta el contenido del campo SIF y después pasa la información de telefonía al usuario para que la procese.
- Bloqueo y desbloqueo de circuitos.
- Reseteo de circuitos si el estado de la línea es desconocido.
- Chequeo de la continuidad de circuitos.

#### **AI.4.2 ISUP (INTEGRATED SERVICES DIGITAL USER PART).**

El propósito de la señalización en la Red Digital de Servicios Integrados (RDSI) es transportar información entre los nodos de red para el establecimiento de llamadas y control de las mismas a través de la red .

La capacidad de la RDSI para proporcionar una gran variedad de servicios exige nuevos requerimientos a la señalización de red. De hecho, la señalización en la RDSI es muy poderosa. El protocolo ISUP provee las capacidades de señalización necesarias para soportar los Teleservicios Básicos, los Servicios Portadores y los Servicios Suplementarios para las aplicaciones de voz y datos de RDSI. Provee todas las funcionalidades de TUP más las necesarias para el soporte de los servicios suplementarios avanzados de RDSI.

El protocolo ISUP se describe en las recomendaciones Q.761, Q.764 y Q.766. El protocolo ISUP soporta además de los servicios portadores básicos (establecimiento, supervisión y liberación de conexiones de circuitos conmutados de 64 Kbps entre centrales), los siguientes servicios suplementarios:

- Identificación del abonado llamante.
- Desvío de llamadas.
- Grupo cerrado de usuarios.
- Marcación directa.
- Señalización usuario –usuario.

#### **AI.4.3 MAP.**

Mobile Application Part. Es un protocolo diseñado especialmente para la tecnología GSM. Es el responsable de la comunicación entre los distintos nodos de subsistema de conmutación. Lo explicamos más adelante.

#### **AI.4.4 BSSAP.**

Base Station Subsystem Application Part. Diseñado también exclusivamente para las comunicaciones GSM. Es el responsable de la señalización entre el sistema de conmutación y el sistema BSS. También veremos este protocolo más adelante.

#### **AI.4.5 INAP.**

Intelligent Network Application Part. Es la parte de usuario dedicada a la señalización de Red Inteligente. Todas las comunicaciones que tengan lugar entre la MSC y el módulo de red inteligente (MIN), se llevarán a cabo sobre este protocolo.

## A1.5 Señalización en una red GSM.

A continuación vemos una figura que muestra los distintos protocolos usados para la señalización entre los distintos nodos que componen una red GSM.

Básicamente podemos decir que la señalización entre los nodos del Subsistema de Conmutación se lleva a cabo a través de MAP (Mobile Application Protocol). Los interfaces con otras redes usan protocolos de dichas redes (TUP en PSTN, ISUP en RDSI).

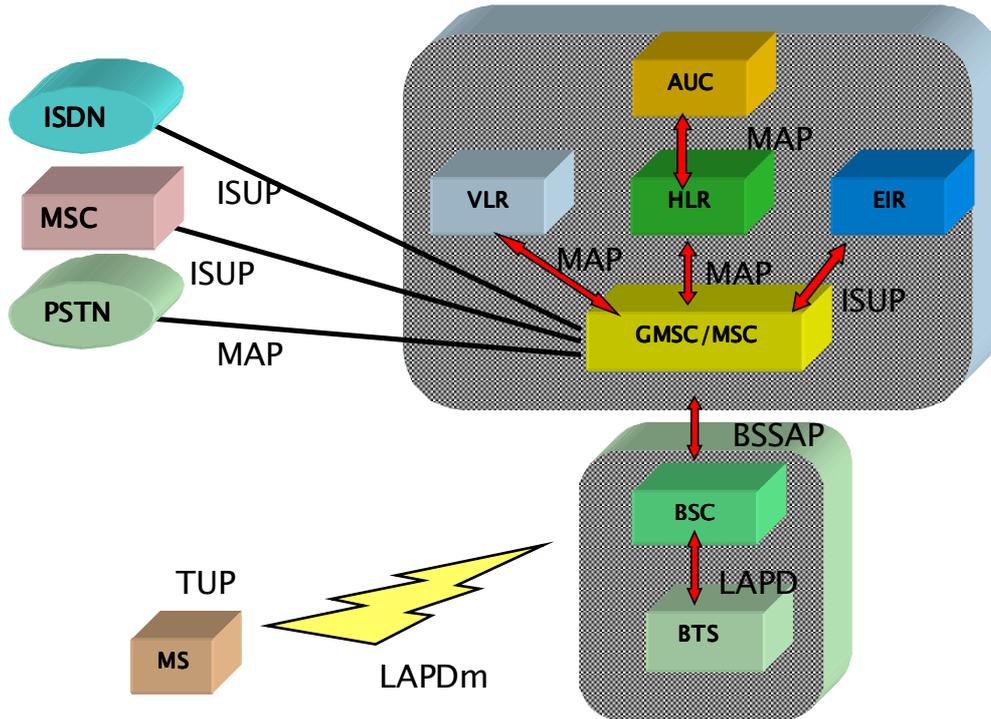


Figura A1.4. Tipos de protocolos en la señalización GSM.

La señalización entre dos MSCs se lleva a cabo, generalmente, a través de ISUP, pero para el control de los handovers se utiliza el MAP.

El interfaz entre el subsistema de conmutación (SS) y el subsistema de radio (BSS) utiliza un nuevo protocolo, especialmente desarrollado para GSM, llamado BSSAP. Dentro de BSS, se utiliza el protocolo de RDSI LAPD (Link Access Procedure on D-channel) para la comunicación entre BSC y BTS. La comunicación en el interfaz aire entre la BTS y MS se lleva a cabo a través de una versión de LAPD llamado LAPDm.

### A1.5.1 MAP

MAP es un protocolo especialmente designado para soportar los requerimientos de la tecnología GSM.

MAP provee los procedimientos de señalización necesarios para el intercambio de información entre las entidades de red GSM. Usa el sistema de señalización C7 para la transferencia de información e interfaces TCAP en la arquitectura CCITT SS7.

Haciendo referencia al modelo OSI, MAP reside encima de TCAP, y los dos pertenecen a la capa 7. Utiliza la clase de SCCP no orientada a conexión. Este protocolo se encuentra instalado en los nodos: MSC, VLR, HLR y EIR, de forma que estos nodos pueden comunicarse entre ellos en caso de:

- Registro de Localización.
- Desregistro de un abonado (IMSI Detach).
- Manejo y gestión de servicios de abonado.
- Handover.
- Procesos de autenticación.

MAP es un usuario de TCAP y también usa SCCP y MTP para la transmisión de información.

### A1.5.2 BSSAP

Para la señalización MSC-BSC GSM utiliza el protocolo BSSAP (Base Station Application Part ). Este protocolo fue especialmente desarrollado para el interface A. No solamente soporta mensajes de señalización entre la MSC y la BSC, sino también entre la MSC y la MS. Por esta razón se distinguen tres tipos de mensajes BSSAP.

- Mensajes DTAP (Direct Transfer Application Part).
- Mensajes Initial MS.
- Mensajes BSSMAP (Base Station Management Application Part).

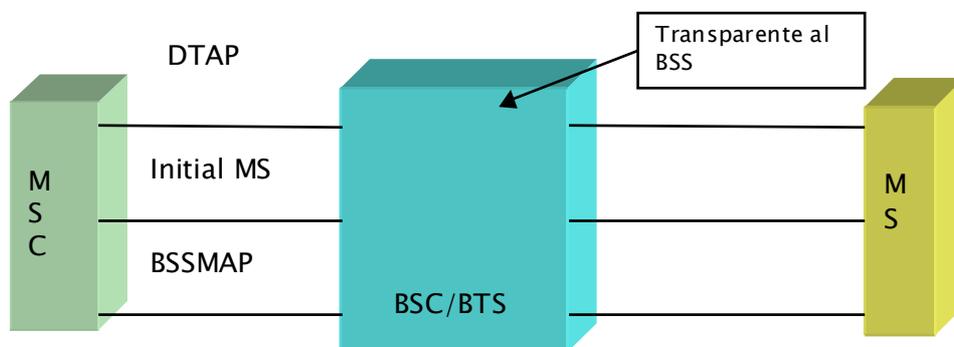


Figura A1.5. Mensajes BSSAP.

- **Mensajes DTAP.** Los mensajes DTAP (entre la MSC y la MS ) pasan a través del sistema de BSS transparentemente. Estos son mensajes de control y de gestión de movilidad dirigidos a una MS específica.
- **Mensajes Initial MS.** Los mensajes Initial MS no son modificados cuando pasan a través de BSS. Sin embargo, el subsistema BSS analiza y añade información al mensaje. Por ello, no podemos decir que sean completamente transparentes al BSS como los mensaje DTAP. Cuando una MS hace una petición de servicio, la BSC añade el CGI (Cell Global Identity) al mensaje Initial. Este CGI se usa para que la MSC tenga información del tipo de tarifa que se debe aplicar a la celda en cuestión y para el enrutamiento de llamadas de emergencia. Estos mensajes se envían en modo orientado a conexión.
- **Mensajes BSSMAP.** Los mensajes BSSMAP circulan entre la BSC y la MSC. Son necesarios para la gestión y control de recursos, handovers, órdenes de paging ...etc. BSSMAP usa los servicios de SCCP orientados a conexión y los no orientados. En general, los mensajes usados para soportar procedimientos dedicados (handovers, mensajes initial MS,..) se envían en modo orientado a conexión. Los mensajes destinados a soportar procedimientos más globales (los concernientes a la gestión del sistema BSS ) son enviados en modo no orientado a conexión.

## Lista de figuras.

---

### Capítulo 1. Introducción.

- Tabla 1.1. Evolución histórica de los sistemas de comunicaciones móviles.  
Gráfico 1.2. Frecuencia y longitud de onda.  
Figura 1.3. Bandas de ondas electromagnéticas.  
Figura 1.4. Transmisor de radio  
Figura 1.5. Receptor de radio  
Figura 1.6. Nivel de señal recibida en un móvil para una  $v=50$  km/h con una  $f_c=1$  GHz y un  $t_{obs}=1$  sg.  
Figura 1.7. Espectro correspondiente a la señal de la figura 1.6.  
Figura 1.8. División en frecuencia y asignación de canales.  
Figura 1.9. Tramas en el Interfaz Radio GSM.  
Figura 1.10. Funciones densidad de probabilidad de la intensidad de campo . eléctrico recibido sin emplear técnicas de diversidad y empleándola.  
Figura 1.11. Conmutación de circuitos.  
Figura 1.12. Conmutación de paquetes.  
Figura 1.13. Estructura celular hexagonal con agrupaciones de 7 células/agrupación.  
Figura 1.14. Ejemplo de handover.  
Figura 1.15. Situación típica de handover. Cuando la potencia. recibida baja de un umbral, la llamada se transfiere.  
Figura 1.16. En esta situación, la señal procedente del móvil supera el umbral de petición de handover pero debido a un agujero de potencia y no a encontrarse en el límite de cobertura de la estación base. La llamada tiene alta probabilidad de caer.  
Figura 1.17. Celda o célula octogonal.  
Figura 1.18. Cluster o racimo.  
Figura 1.19. Sectorización de  $120^\circ$ . De las 6 estaciones cocanal circundantes a una célula dada (por ejemplo la central), tan solo 2 interfieren sobre ésta (las indicadas en la figura). Las otras 4 dirigen su haz fuera de los límites de la célula central, con lo cual no generarán interferencias cocanal.  
Figura 1.20. Ejemplo de red celular.  
Figura 1.21. Modelo de tráfico de Erlang-B.

### Capítulo 2. Telefonía móvil analógica. La 1ª generación.

- Figura 2.1. Red TACS.  
Figura 2.2. Subbandas de TACS/ETACS.

## Capítulo 3. GSM. La 2ª generación.

- Figura 3.1. Usuarios de sistemas analógicos y digitales.
- Figura 3.2. Desarrollo de las comunicaciones móviles en Europa.
- Tabla 3.3. Hitos en la elaboración del estándar GSM
- Figura 3.4. Subsistemas de la Red GSM.
- Tabla 3.5. Comparativa del espectro empleado.
- Figura 3.6. TDMA en GSM.
- Figura 3.7. Esquema de una red GSM genérica e interacción con otras redes.
- Tabla 3.8. Servicios Portadores y Teleservicios en GSM
- Tabla 3.9. Características técnicas de estándares celulares digitales.
- Figura 3.10. Teléfono móvil
- Gráfico 3.11. Tarjeta *SIM* estándar.
- Figura 3.12. Distribución frecuencia-tiempo de los canales.
- Figura 3.13. Tramas en el Interfaz Radio.
- Figura 3.14. BTS con 3 sectores y 3 TRX.
- Tabla 3.15. Características de algunas antenas sectoriales con diversidad en polarización.
- Figura 3.16. Diagrama de radiación de una celda omnidireccional.
- Figura 3.17. Diagrama de radiación de una celda bidireccional.
- Figura 3.18. Diagrama de radiación de una celda trisectorial.
- Figura 3.19. Diagrama de radiación de una celda mixta.
- Figura 3.20. Diagrama de celdas concéntricas.
- Figura 3.21. Diagrama de celdas paraguas.
- Figura 3.22. Direccionamiento directo.
- Figura 3.23. División de una celda de radio R en cuatro de radio R/2.
- Figura 3.24. Representación de un radioenlace con 2 vanos.
- Figura 3.25. Ejemplo de un anillo.
- Figura 3.26. Ejemplo de una cadena.
- Figura 3.27. Ejemplo de una estrella.
- Figura 3.28. Ejemplo de un spur.
- Figura 3.29. Figura de una red GSM.
- Figura 3.30. Location Updating Periódico.
- Figura 3.31. Location Updating Normal.
- Figura 3.32. IMSI attach.
- Figura 3.33. IMSI detach.
- Figura 3.34. Llamada de móvil a fijo.
- Figura 3.35. Llamada de fijo a móvil.
- Figura 3.36. Handover entre celdas controladas por la misma BSC.
- Figura 3.37. Handover entre celdas controladas por diferentes BSC pero la misma MSC/VLR.
- Figura 3.38. Handover entre celdas controladas por distintas MSC/VLRs.
- Diagrama 3.39. Procedimiento de Asignación Inmediata.
- Diagrama 3.40. Procedimiento de Paging.
- Diagrama 3.41. Procedimiento de Asignación.
- Diagrama 3.42. Secuencia de liberación.
- Diagrama 3.43. Procedimiento de handover intracelda.
- Diagrama 3.44. Procedimiento de handover intercelda.
- Diagrama 3.45. Procedimiento de handover interBSC.

- Diagrama 3.46. Procedimiento de retransmisión dirigida.
- Figura 3.47. SMS terminado en el móvil.
- Figura 3.48. Llamada de datos.
- Figura 3.49.. Interfaces del sistema BSS y protocolos.
- Figura 3.50. Interfaz Um trama física.
- Figura 3.51. Interfaz Um. Ráfagas de acceso.
- Figura 3.52. Multiplexado de canales lógicos.
- Figura 3.53. Tipos de canales lógicos en el interfaz Um.
- Figura 3.54 . Señalización en GSM.
- Figura 3.55. Mecanismo de autenticación.
- Figura 3.56. Mecanismo de cifrado.

## **Capítulo 4. Comunicaciones móviles por satélite.**

- Figura 4.1. Diferentes situaciones en las trayectorias de satélites alrededor de la Tierra.
- Figura 4.2. Órbita elíptica.
- Figura 4.3. Planos orbitales.
- Figura 4.4. Tipos de órbita para satélites.
- Tabla 4.5. Ventajas e inconvenientes de los sistemas GEO.
- Figura 4.6 Sistema INMARSAT. Podemos ver cómo se distribuyen las 4 regiones y las 36 estaciones terrestres que componen el sistema.
- Tabla 4.7. Ventajas e inconvenientes de los sistemas LEO.
- Figura 4.8. Constelación y cobertura del sistema IRIDIUM.
- Figura 4.9. Constelación y cobertura del sistema GLOBALSTAR.
- Figura 4.10. Constelación y cobertura del sistema ICO.
- Tabla 4.11. Comparativa de los sistemas LEO, MEO y GEO.
- Tabla 4.12. Comparativa de los sistemas IRIDIUM, GLOBALSTAR e ICO.

## **Capítulo 5. Comunicaciones inalámbricas.**

- Figura 5.1. Estructura de ráfaga, trama y multitrama en el sistema DECT.
- Tabla 5.2. Características técnicas del DECT y CT2/CT2+.
- Figura 5.3. Sistema PHS.
- Tabla 5.4. Características técnicas de los sistemas PHS y PACS.
- Tabla 5.5. Comparativa entre los sistemas celulares digitales y los sistemas inalámbricos digitales.
- Tabla 5.6. Características típicas de los sistemas de acceso fijo inalámbrico.
- Figura 5.7. Estructura de una estación base.
- Figura 5.8. Esquema de una estación terminal de acceso fijo inalámbrico.
- Figura 5.9. Ejemplos de terminales de sistemas de acceso fijo inalámbrico.

## **Capítulo 6. El entorno regulador de las comunicaciones móviles.**

- Tabla 6.1. Límites de emisión recomendados por diversos organismos.
- Figura 6.2. Diagrama de radiación de una antena típica de estación base.
- Figura 6.3. Volumen de seguridad de una antena de estación base.
- Figura 6.4. Valores típicos del volumen de seguridad.

## **Anexo 1. Señalización CCITT nº 7.**

- Figura A1.1. Comparación Modelo OSI Vs Modelo N°7 CCITT.
- Figura A1.2. Partes de Usuario.
- Figura A1.3. Esquema de una trama MTP y TUP.
- Figura A1.4. Tipos de protocolos en la señalización GSM.
- Figura A1.5. Mensajes BSSAP.

## Glosario.

---

### A

A Interface	Interfaz entre MSC y BSS.
A-bis	Interfaz entre BSC y BTS.
AB	Access Burst.
ACCH	Auxiliary Control Chnnel.
ACC	Access Control Class.
ADN	Abbreviated Dialling Number.
AGCH	Access Grant Channel, canal de acceso garantizado.
AM	Amplitude Modulation.
AMPS	Advanced Mobile Phone System (USA).
AN	Access Network.
ARFCN	Absolute RadioFrequency Channel Number.
ARQ	Automatic Repeat Request.
ARTS	American Radio Telephone Service.
AUC	Authentication Centre

### B

BH	Busy Hour. Hora cargada.
BCC	Base Station Colour Code, código de color de BTS.
BCCH	Broadcast Control Code .
BCF	Basic Control Functions.
BCH	Broadcast Channels, canales de difusión.
BER	Bit Error Rate.
BNCH	Broadcast Network Channel.
BN	Bit Number.
Bps	Bits por segundo.
BS	Base Station.
BSC	Base Station Controller, Controlador de estaciones base.
BSIC	Base Station Identity Code.
BSS	Base Station System, Subsistema de estaciones base.
BSSAP	Base Station System Application Part, Parte aplicación BSS.
BSSMAP	BSS Management Messages.
BSSOMAP	Base Station System Operation and Maintenance Application Part, Parte aplicación de operación y mantenimiento de BSS.
BTS	Base Transceiver Station, Estación Base.
BER	Bit Error Rate, tasa de error de bit.

**C**

C/I	Carrier to Interference Ratio.
CBCH	Cell Broadcast Channel, canal de difusión de celda.
CCBS	Customer Care and Billing System.
CC	Call Control. Control de llamada.
CC	Country Code, código del país.
CCCH	Common Control Channels, canales de control común.
CCH	Control Channel.
CCITT	Comité Consultivo Internacional de Telefonía y telegrafos.
CCIR	Comité Consultivo Internacional de Radiocomunicaciones.
CDMA	Code Division Multiple Access.
CEM	Campo electromagnético.
CEPT	Conférence des Administrations Européennes des Postes et Télécommunications.
CGI	Cell Global Identity.
CI	Cell Identity.
CM	Connection Management.
CM	Call Management, Gestión de las comunicaciones o llamadas.
CM	Subcapa de gestión de la conexión.
CMSUE	Consejo de Ministros de la Unión Europea.
CNAF	Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias.
CODEC	Coder-Decoder.
CPC	Chipcard Personalization Center.
CS	Cell Station.
CSPDN	Circuit Switched Public Data Network, Red de Datos Pública de Conmutación de Circuitos.

**D**

D-AMPS	Digital AMPS (USA).
DB	Dummy Burst.
DCCH	Dedicated Control Channels, canales dedicados.
DCS-1800	Digital Cellular System At 1800 MHz.
DECT	Digital Enhanced Cordless Telecommunications.
DF	Dedicated File.
DK40	Disk 40 Mbyte.
DL	Downlink, enlace descendente.
DL2B	Digital Link on the Backplane version 2.
DL3	Digital Link version 3.
DRX	Discontinuous Reception, Recepción discontinua.
DTAP	Direct Transfer Application Part. Parte aplicación de transferencia directa.
DTCH	Dedicated Traffic Channel.
DTMF	Dual Tone Multi Frequency.
DTX	Discontinuous Transmission, Transmisión discontinua.
DXX	Digital Cross Connector, Transconector Digital.

## E

E	Erlang.
Eb/Io	Energy per bit / Noise floor.
EF	Elementary File.
EIR	Equipment Identity Register, registro de identificación equipos.
EMB2	Extension Module Bus Backplane version 2.
EMS	Enhanced Message Service.
EPWR	Expansion Power Supply.
E-TACS	Extended TACS.
E-TDMA	Extended TDMA (USA).
ETR	ETSI Technical Report.
ETS	ETSI Technical Standards.
ETSI	European Telecommunications Standards Institute, Instituto Europeo de Normas de Telecomunicación.

## F

FACH	Forward Access Code.
FACCH	Fast Associated Control Channel, canal de control asociado rápido.
FB	Frequency Correction Burst.
FCC	Federal Communication Commitee.
FCCH	Frequency Correction Channel, canal de corrección de frecuencia.
FDD	Dúplex por División en Frecuencia.
FDN	Fixed Dialling Numbers.
FER	Fast Frequency Shift Keying.
FH	Frequency Hopping, Salto en Frecuencia.
FI	Frecuencia Intermedia.
FLMETS	Future Land Mobile Telecommunications Systems.
FSK	Frequency Shift Keying.

## G

GDM	Generic Device Magazine.
GMSC	Gateway Mobile Switching Center.
GMSK	Gaussian minimum shift keying.
3GPP	Third Generation Partnership Project.
GoS	Grade of Service, grado de servicio.
GPS	Global Positioning System.
GPRS	General Packet Radio Service.
GSM	Groupe Spécial Mobile.
GSM	Global Standard for Mobile Communications.
GSM-TS	GSM Technical Specifications.

## H

HLR	Home Location Register.
HO	Handover, traspaso.
HOCA	Handover Control Application, Aplicación control de trasposos.
HON	HandOver Number.
HSCSD	High Speed Circuit Switched Data.
HW	Hardware.
Hz	Hertzio.

## I

ICC	Integrated Circuits Card.
IDU	Indoor Unit.
IM	Intermodulación.
IMEI	International Mobile Station Equipment Identity.
IMSI	International Mobile Subscriber Identity, Número de identificación del usuario.
IMT-2000	International Mobile Telecom 2000.
IMTS	Improved Mobile Telephone System.
IN	Intelligent network, Nodos de red inteligente.
INAP	Intelligent Network Application Part.
IOP	Interoperability Group.
IrDA	Infrared data Association.
ISDN	Integrated Services Digital Network, Red Digital de Servicios Integrados.
ISO	International Standards Organization.
ISSUP	ISDN User Part, Parte usuario de ISDN (RDSI).
IWU	Interworking Unit.
IWF	Interworking Function.
IXLT	Interface to LMT/OMC.

## J

J2ME	Java 2 micro edition.
------	-----------------------

## K

Kc	Ciphering key.
Ki	Individual subscriber authentication.

## L

L2M	Gestión de la capa 2.
LA	Location Area, Área de Localización.
LAC	Location Area Code, código de área de localización.
LAI	Location Area Identity, Location Area Identification.
LAN	Local Area Network, Red de Área local.
LAPD	Link Access Procedure on D-Channel Layer 2.
LMSI	Local Mobile Station Identity.
LN	Location Number.
LND	Last Number Dialed.
LOCI	Location Information.
LSP	Local Significant Part, parte local relevante.

## M

MAh	Mil Amperios hora.
MAHO	Mobile Assisted Handover, handover asistido por móvil.
MAIO	Mobile Allocation Index Offset.
MAP	Mobile Application Part, Parte aplicación móvil.
MCC	Mobile Country Code, código móvil del país.
ME2M	Memory Board 2 Mbyte.
MEMT	Memory of the TDPC.
MER	Message error rate.
MF	Master File.
MM	Mobility Management, Gestión de movilidad.
MMI	Man/Machine Interface.
MMS	Multimedia Message Service.
MNC	Mobile Network Code, código móvil de red.
MoU GSM	Memorandum of Understanding GSM.
MPCC	Main Processor Control Circuit.
MS	Mobile System, Mobile Station, Estación Móvil.
MSC	Mobile Switching Center.
MSIN	Mobile Station Identity Number, número identificativo de estación móvil.
MSISDN	Mobile Station ISDN Number.
MSM	Mobile Station Management, gestión de estaciones móviles.
MSRN	Mobile Subscriber Roaming Number, Número de encaminamiento por la PSTN.
MTP	Parte de Transferencia de mensaje.

## N

NAMTS	Nipon Advanced Mobile Telephone System.
NB	Normal Burst.
NCC	Network Colour Code, código de color de red.
NDC	National Destination Code, código nacional de destino.
NMC	Network Management Center.
NMT	Nordic Mobile Telephony System.
NSS	Network Switching System, Subsistema de red y conmutación.

## Ñ

## O

OACSU	Off Air Call Set Up.
ODU	Outdoor Unit.
O&M	Operation and Maintenance.
OMC	Operation and Maintenance Center, centro de operación y mantenimiento.
OMP	Operation and Maintenance Processor.
OMT	Operation and Maintenance Terminal.
OSS	Operation and Support System, Subsistema de operación y mantenimiento.
OOS	Out of Service.

## P

PABX	Private Automatic Branch Exchange.
PC	Personal Computer.
PCH	Paging Channel, canal de búsqueda.
PCS 1900	Personal Communications Systems 1900.
PDN	Public Data Networks.
PIRE	Potencia isotrópica equivalente.
PLLH	Phase Locked Loop High Performance.
PLMN	Public Land Mobile Network.
PLMN-GSM	Public Land Mobile Network-GSM.
PPCC	Peripheral Processor for CCSS7.
PPLD	Peripheral Processor for LAPD.
PTT	Push to Talk.
PSPDN	Packet Switched Public Data Network, Red Pública de Datos de Conmutación de paquetes.
PSTN	Public Switched Telephone Network, Red Telefónica Pública Conmutada.
PWRD	Power Distributor.

## Q

QAM	Quadratura Function Block.
QoS	Quality of Service.
QTLP	Quad or Dual Trunk Line Peripheral Board.

## R

RACH	Random Access Channel, canal de acceso aleatorio.
RAND	Random Number.
RF	Radiofrecuencia.
RX	Receiver.
RDSI	Red digital de servicios integrados.
RPB-S	Regional Processor Bus-Serial.
RR	Radio Resources, Subcapa de gestión de los recursos radio.
RTB	Red Telefónica Básica.

## S

SABM	Set Asynchronous Balanced Mode.
SACCH	Slow Associated Control Channel, canal control asociado lento.
SAPI	Service Access Point Identifier.
SAR	Specific Absorption Rate, Tasa de Absorción Específica.
SB	Synchronization Burst.
SC	Service Centre, Centro servidor.
SCCP	Parte de control de la conexión de señalización.
SCH	Synchronization Channel, canal de sincronización.
SCH	Signalling Channel.
SDC	Speech and Data Channel.
SDCCH	Stand-alone Dedicated Control Channel, canal de control dedicado autónomo.
SDN	Service Dialling Numbers.
SeMC	Security Management Center.
SIM	Subscriber Identity Module, Módulo de identificación abonado.
SM	Subscriber Management, Gestión de los abonos.
SM	Short Message.
SMG-TC	Special mobile Group – Technical Committee.
SMS	Short Message Service, Servicio de mensajes cortos.
SMSC	Short Message Service Centre, Centro servidor de mensajes.
SMS-MT	Short Message Service-Mobile Terminating.
SN	Subscriber Number, número de abonado.
SN16 ó 64	Switching Network at 16 or 64 Kbits/s.
S/N	Relación señal a ruido.
SNR	Signal to Noise Ratio, relación señal a ruido.
SRES	Signed Response, respuesta firmada.
SS	Supplementary Services, Servicios Suplementarios.

## T

TA	Timing Advance.
TACS	Total Access Communications System.
TCH	Traffic Channel, canal de tráfico.
TCH/E	Enhanced full rate TCH.
TCH/F	Full rate TCH.
TCH/H	Half rate TCH.
TDMA	Time Division Multiple Access, Acceso Múltiple por División en el Tiempo.
TDPC	Telephony and Distributor Processor Circuit.
TE	Terminal Equipment.
TEI	Terminal Equipment Identifier, identificador de equipo terminal.
TI	Transaction Identifier.
TMP	Procedimientos de gestión de tráfico.
TMSI	Temporary Mobile Subscriber Identity.
TRAU	Transcoder and Rate Adaptor Unit.
TRX	Transmitter Receiver (Transceiver).
TS	Time Slot, intervalo temporal, ranura temporal.
TUP	Telephone User Part, Parte de usuario de telefonía.

## U

UL	Uplink.
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System.
UBEX	Universal Bus Extender Board.
UER	Unión Europea de radiodifusión.
UIT	Unit International Telecommunications.
UP	Uplink, enlace ascendente.

## V

VBS	Voice Broadcast Service, Servicio de difusión de voz.
VGCS	Voice Group Call Service, Servicios de llamadas de grupo de voz.
VLR	Visitor Location Register.
VMS	Voice Mail System.
VMSC	Visited MSC.

## W

WAP	Wireless Application Protocol.
WARC	World Administrative Radio Conference.
WS	Workstation.

**X**

**Y**

**Z**



## **Bibliografía.**

---

### **Publicaciones.**

Título: COMUNICACIONES MÓVILES.

Autor: N. Cardona, S. Flores, J. Reig, L. Rubio, R. Fraile.

Editorial: Servicio de Publicaciones de la Universidad Politécnica de Valencia.

Título: INTRODUCCIÓN A LAS COMUNICACIONES MÓVILES.

Autor: E. Tébar, J.A. García.

Editorial: UMH Curso 2000-2001.

Título: POLÍTICA DE TELECOMUNICACIONES Y DE LA SOCIEDAD DE LA INFORMACIÓN.

Autor: A. Alabau, M. Tomás, D. Vicente, J. Lázaro.

Editorial: Servicio de Publicaciones de la Universidad Politécnica de Valencia.

Título: TELECOMUNICACIÓN ESPACIAL.

Autor: A. Vidal.

Editorial: UPV Curso 1999-2000.

Título: TELECOMMUNICATION SYSTEM ENGINEERING.

Autor: R.L. Freeman.

Editorial: John Wiley & Sons (1996).

Título: WIRELESS AND PERSONAL COMMUNICATION SYSTEMS.

Autor: V.K. Garg, J.E. Wilkes.

Editorial: Prentice-Hall PTR (1996).

Título: COMMUNICATION SYSTEMS.

Autor: S. Haykin.

Editorial: John Wiley & Sons (2001).

Título: RADIOENLACE DE GRAN CAPACIDAD SOBRE VANOS DE AGUA.

Autor: Juan C. Cebrián.

Editorial: P:F.C. U.P.V.

Título: INTRODUCCIÓN A LA TELEFONÍA MÓVIL DIGITAL GSM.

Autor: José María Hernando Rábanos.

Editorial: Fundación Airtel.

Título: WIRELESS COMMUNICATIONS. PRINCIPLES & PRACTICE.  
Autor: Theodore S. Rappaport.  
Editorial: Prentice Hall PTR, 1996.

Título: AN INTRODUCCION TO GSM.  
Autor: Siegmund M. Redl, Matthias K. Weber, Malcolm W. Oliphant.  
Editorial: Artech House Publisers, 1995.

Título: THE GSM SYSTEM FOR MOBILE COMMUNICATIONS.  
Autor: Michel Mouly and Marie-Bernadette Pautet.  
Editorial: Published by the authors, 1992.

Título: DATA AND COMPUTER COMMUNICATIONS.  
Autor: William Stallings.  
Editorial: MacMillan, 1994.

Título: DIGITAL COMMUNICATIONS.  
Autor: Simon Haykin.  
Editorial: John Willey and Sons, 1988.

Título: OVERVIEW OF THE GLOBAL SYSTEM FOR MOBILE COMMUNICATIONS.  
Autor: John Scourias.  
Editorial: University of Waterloo, 1995.

Título: GMSK MODULATION FOR DIGITAL MOBILE RADIO TELEPHONY.  
Autor: Kazuaki Muroa, Kenkichi Hirade (Mebers IEEE).  
Editorial: IEEE Transactions on Communications. Vol. COM-29, N° 7, July 1981.

Título: LAS COMUNICACIONES MÓVILES DEL FUTURO. UMTS: EL NUEVO SISTEMA DEL 2001.  
Autor: Flavio Muratore  
Editorial: Centro Studi e Laboratori Telecomunicazioni S.p.A., 2000.

## **Catálogos y revistas.**

Título: CATÁLOGOS SRA-L.  
Empresa: Siemens.

Título: INTRODUCCIÓN AL SISTEMA PUNTO A MULTIPUNTO.  
Código: DS.00396.S/001.  
Empresa: SIAE Microelectrónica.

Título: DMS GENERAL OVERVIEW.  
Código: 9908.  
Empresa: Marconi.

Título: MVDS: SERVICIOS INTERACTIVOS DE BANDA ANCHA EN LA BANDA DE 40GHZ.

Autor: García García J. L..

Revista: Bit nº 115.

Enlace: <http://www.iies.es/teleco/publicac/publbit/bit115/ba05.htm>

## **Cursos.**

Título: INTRODUCCIÓN GSM II.

Autor: Francisco Javier Ponce.

Empresa: Redes/OyM/Amena.

Título: PARÁMETROS DE BASES DE DATOS.

Autor: Vicente Luján Safón y Pruden Muñoz Fernández.

Empresa: Redes/OyM/Amena.

Título: ESTADÍSTICAS EN LA RESOLUCIÓN DE AVERÍAS.

Autor: M. Enrique García-Villarrubia.

Empresa: Redes/OyM/Amena..

Título: INTRODUCCIÓN AL GSM.

Autor: Javier Vayá.

Empresa: Redes/OyM/Amena.

Título: CURSO AXE DE ANÁLISIS DE DÍGITOS Y ENRUTAMIENTO.

Autor: Gonzalo Redondo Sáez.

Editorial/Empresa: Redes/OyM/Amena.

Título: GESTIÓN DE ESTADÍSTICAS EN NODOS AXE.

Autor: Esteban Manuel Pedraja Meyer.

Editorial/Empresa: Redes/OyM/Amena.

Título: INTRODUCCIÓN A AXE 10 (Material de Estudiante).

Código: Curso LZTE 501 403.

Empresa: Ericsson España.

Título: INTRODUCCIÓN AL SISTEMA GSM (Material de Estudiante).

Código:Curso ES/LZT 123 3321B R1B.

Empresa: Ericsson España.

Título: MSC/VLR/HLR OPERATION & MAINTENANCE (Student Text).

Código:Curso LZU108623.

Empresa: Ericsson España.

Título: AXE 10 O&M PLATFORM IN GSM (Student Text).

Código: Curso EN/LZT 123 4258.

Empresa: Ericsson España.

Título: OPERATION HANDLING IN GSM (Student Text).  
Código: Curso EN/LZU 108 3684 R2A.  
Empresa: Ericsson España.

Título: SIGNALING Nº 7 IN GSM (Student Text).  
Código: Curso EN/LZT 123 4734.  
Empresa: Ericsson España.

Título: O&M SSF/SCF, Documentos Varios.  
Empresa: Ericsson España.

## **Enlaces WEB.**

Título: PROYECTO EMF. CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS Y SALUD PÚBLICA. LOS TELÉFONOS MÓVILES Y SUS ESTACIONES BASE.  
Enlace: [www.who.int/peh-ef/](http://www.who.int/peh-ef/)

Título: PROYECTO DE REAL DECRETO POR EL QUE SE APRUEBA EL REGLAMENTO DE DESARROLLO DE LA LEY 11/1998, DE 24 DE ABRIL, GENERAL DE TELECOMUNICACIONES.  
Enlace: <http://www.setsi.mcyt.es/>

Título: COLEGIO OFICIAL DE INGENIEROS DE TELECOMUNICACIÓN, ALEGACIONES AL PROYECTO DE REAL DECRETO POR EL QUE SE APRUEBA EL REGLAMENTO DE DESARROLLO DE LA LEY 11/1998, DE 24 DE ABRIL, GENERAL DE TELECOMUNICACIONES.  
Enlace: <http://www.iies.es/teleco/>

Título: COLEGIO OFICIAL DE INGENIEROS DE TELECOMUNICACIÓN, EL COIT Y LAS EMISIONES RADIOELÉCTRICAS.  
Enlace: <http://www.iies.es/teleco/>

Título: CONSEJO DE LA UNIÓN EUROPEA, RECOMENDACIÓN DEL CONSEJO DE 12 DE JULIO DE 1999 RELATIVA A LA EXPOSICIÓN DEL PÚBLICO EN GENERAL A CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS (0HZ A 300GHZ), 1999/519/CE, DIARIO OFICIAL NO. L.199 DE 30/07/1999 PP.59-70.  
Enlace: <http://www.europa.eu.int>

