

2. Introducción al sistema UMTS.

2.1. Introducción.

En este capítulo se presenta una breve introducción al sistema UMTS. En primer lugar se explica el proceso de estandarización del sistema y como ha sido su evolución. En segundo lugar se presentan las características generales del sistema y los servicios ofrecidos por el mismo y la clasificación según la calidad y finalidad del servicio. En tercer lugar se explica la arquitectura del sistema a nivel físico y a nivel de interfaces, el objetivo de este punto es entender la base del sistema UMTS en que se basa este proyecto. Por último se explican algunos conceptos teóricos del acceso radio UMTS, entre los que se encuentran la tecnología W-CDMA utilizada en este sistema para el acceso radio, el concepto de ensanchado y desensanchado de la señal y los elementos principales del W-CDMA, tales como el receptor RAKE y el mecanismo de control de potencia. Por último se comentan los aspectos que hay que tener en cuenta a la hora de diseñar el sistema.

2.2. Proceso de Estandarización.

El organismo internacional responsable del proceso de estandarización de los sistemas 3G es la ITU (International Telecommunication Union) a través del IMT-2000 o *International Mobile Telecommunications 2000*, que es el encargado de definir los estándares. Empezó su trabajo en 1985, originalmente llamado *Future Public Land Telecommunications System (FPLMTS)*, bajo la supervisión de la *ITU-Radio communication sector (ITU-R)* para cumplir los siguientes objetivos [9]:

- Personalización: De los servicios de comunicación personal a través de un uso eficiente del espectro y mejora de terminales.
- Globalización: Los usuarios serán capaces de comunicarse y recibir servicios uniformes en cualquier lugar del mundo con un único terminal.

- Multimedia: Se buscan servicios multimedia con alta velocidad y calidad de transmisión. Para lo cual se definieron las siguientes velocidades: 144 Kbps a alta movilidad, 384 Kbps en exteriores a baja movilidad y 2 Mbps en ambientes interiores. Los servicios debían ser para ambientes públicos, privados y de negocios.

Una vez definidos los objetivos de la tercera generación, la ITU invitó, en 1998, a presentar las propuestas de tecnologías que cumplieren los requerimientos. Como resultado 10 sistemas terrestres y 6 satelitales fueron presentados. De los sistemas terrestres la mayor parte de las tecnologías propuestas se basaron en tecnología de acceso múltiple por división de código, CDMA (Code División Múltiple Acces) y eran agrupables en dos:

- CDMA de banda ancha con modos de duplexión en frecuencia, FDD (Frecuancy División Duplex) y en tiempo TDD (Time División Duplex), (WCDMA/UTRA).
- CDMA multiportadora (CDMA2000).

Las otras propuestas eran TDMA (Time Division Multiple Acces) basadas en la evolución del sistema actual, usando el servicio general de radiocomunicación por paquetes, GPRS (General Packet Radio Service), y la evolución del sistema digital GSM, EDGE (Enhaced Digital GSM Evolution).

La ITU-R creó un grupo de trabajo encargado de producir las recomendaciones para los sistemas terrestres 3G en lo referente al acceso de radio, a este grupo se le llamó ITU-R TG8/1.

A continuación, la ITU establece una fase de armonización, para que las tecnologías que coincidían fuesen presentadas en una sola propuesta. En 1999, la ITU aprueba las tecnologías que se muestran en la figura 2.1 como 3G.

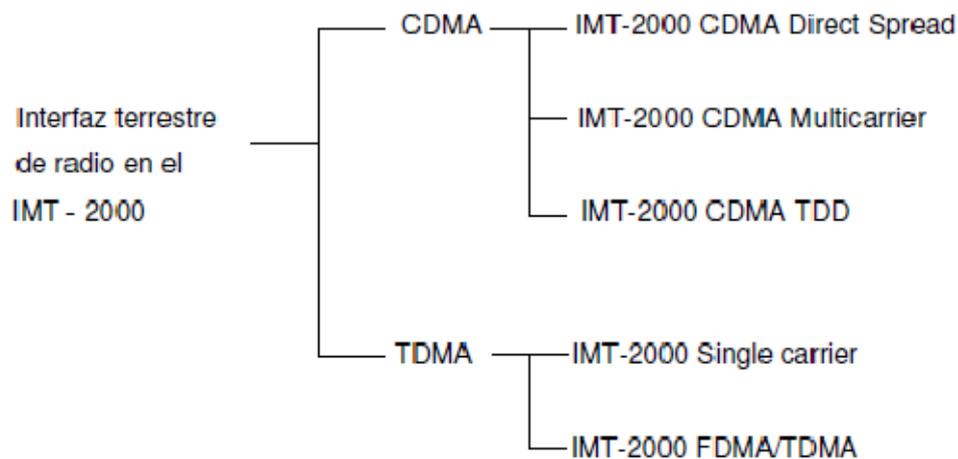


Figura 2.1 Interfaces terrestres de radio en el IMT-2000

A partir de este momento se comienza el proceso de estandarización.

UMTS es la propuesta de la ETSI para tercera generación de telefonía celular. La responsabilidad de normalización de UMTS recae en el proyecto de colaboración para el desarrollo de sistemas 3G conocido como 3GPP. El “Third Generation Partnership Project”. Es un acuerdo de colaboración establecido en 1998 que reúne a varios organismos de estandarización: ARIB (Japón), CCSA (China), ETSI (Europa), T1 (Estados Unidos), TTA (Corea), y TTC (Japón). Más tarde, forman parte del 3GPP otros organismos en representación del mercado: Foro IPv6, la asociación GSM y el UMTS Forum. El 3GPP se centra en el desarrollo de especificaciones aplicables a sistemas móviles de tercera generación basados en redes de núcleo de GSM, así como las tecnologías de acceso evolucionadas de GSM.

El 3GPP está dividido en grupos de especificaciones técnicas TSG encargados de diferentes aspectos [9]:

- TSG RAN: a cargo de la red de acceso (Radio Access Network) para UMTS/HSPA/LTE

- TSG CT: a cargo del núcleo de la red (*core network*) y los terminales
- TSG SA: a cargo de servicios y aspectos del sistema
- TSG GERAN: a cargo de la red de acceso pero para GSM/GPRS/EDGE.

El trabajo de estos grupos es coordinado por el *Project Co-ordination Group* (PCG) tal como se muestra en la figura 2.2.



Figura 2.2 Estructura del 3GPP

El trabajo del 3GPP se ha estructurado en “Releases”, que es una agrupación lógica y cronológica de los resultados a los que se ha llegado. Los primeros Releases, o versiones, correspondieron a avances sobre redes GSM, y fue en el Release 99 (R99, marzo de 2000) en donde aparece por primera vez UMTS.

En este *Release*, y posteriores también, se incluyen mejoras a GSM/GPRS/EDGE. Sin embargo, se centran en los aspectos más relevantes para UMTS.

Desde su mismo inicio UMTS fue concebido para ser compatible con GSM y constituir su evolución hacia la 3G.

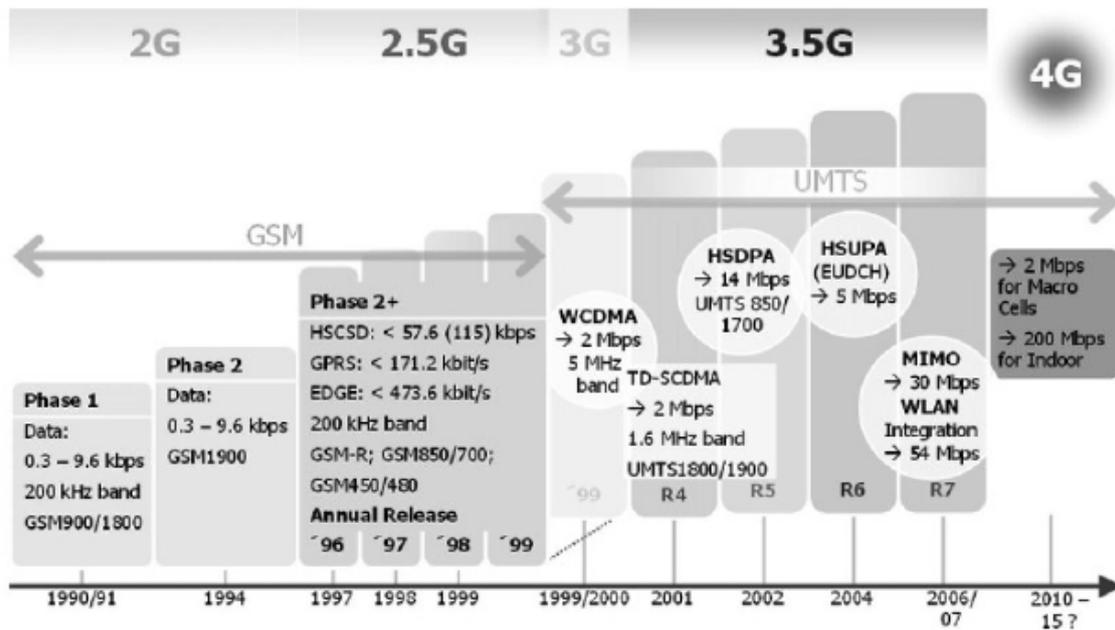


Figura 2.3 Evolución de UMTS en el 3GPP

2.3. Servicios y aplicaciones.

La tendencia actual en comunicaciones móviles se orienta hacia velocidades de transmisión de datos cada vez más altas teniendo como resultado la aparición de nuevos servicios y aplicaciones multimedia que complementaran los servicios de voz ya existentes y ofertados en las redes 2G.

2.3.1. Servicios portadores.

La red UMTS es capaz de transmitir voz y datos simultáneamente, en este aspecto, los sistemas 3G suponen una considerable evolución, ya que en redes GSM la interfaz aire ha sido optimizada únicamente para la transmisión de voz, por lo que la capacidad de transmisión de datos GPRS es limitada e insuficiente para los requerimientos de transmisión futuros. UMTS ofrece un potente interfaz radio para la transmisión de voz y datos a distintas velocidades tanto en modo circuito CS como en modo paquete PS, según los requerimientos específicos de calidad de servicio (QoS) de cada servicio.

TIPO DE SEVICIO	Modo Circuito CS	Modo Paquete PS	
CAPACIDAD	12.2 Kbps		
	64 Kbps	64 Kbps	
	144 Kbps	144 Kbps	
	384 Kbps		384 Kbps
			768 Kbps
			1920 Kbps

Tabla 2.1 Servicios portadores UMTS.

En fases iniciales de desarrollo del sistema UMTS [10], sólo se ofrecen servicios portadores a 12.2 y 64 Kbps en modo circuito y de 64, 144 y 384 Kbps en modo paquete. En fases más avanzadas se ofrecerán adicionalmente servicios portadores en modo circuito de 144 y 384 Kbps y de 768 y 1920 Kbps en modo paquete. Estas velocidades tan elevadas en modo paquete se consiguen mediante la adición de canales a 384 Kbps. Así, para la obtención de 768 Kbps en modo PS se ofrecerá de forma transparente al usuario 2 canales de 384 que se transmitirán independientemente, del mismo modo, para ofrecer tasas de 1920 Kbps se le ofrecerán 5 canales de 384 Kbps.

Ofrecer una capacidad de 1920 Kbps puede parecer excesivo, pero esta capacidad se corresponde con la capacidad de transporte de un sistema G.703 (30x64 Kbps) y facilitará la interconexión del sistema UMTS a otros sistemas de transmisión como PDH a nivel E1 o RDSI en un acceso primario a través de Passports que pasan del modo PS a CS [10].

En un principio se prevé que la mayor parte del tráfico UMTS sea tráfico de voz y donde no todas las funciones de QoS estén definidas, por lo que servicios como la voz o videotelefonía se transportarán sobre circuitos conmutados CS. En etapas posteriores de desarrollo, se espera un incremento continuado del tráfico de datos y la introducción progresiva en las redes UMTS de servicios de voz sobre paquetes hasta llegar al concepto conocido como "All IP" donde todos los servicios y aplicaciones disponibles se transmitirán en

modo PS mediante la definición de distintas funciones de QoS específicas para cada servicio.

2.3.2. Clasificación de los Servicios.

Las aplicaciones y servicios definidos para el sistema UMTS se dividen en diferentes grupos. La clasificación se ha realizado atendiendo a la QoS requerida por cada servicio definiéndose así 4 clases o tipos de servicio cuyo principal factor diferenciador es la sensibilidad al retardo de transferencia: Conversacional, Streaming, Interactiva y Background [1], [10].

Los servicios definidos en clase conversacional serán los más sensibles al retardo, mientras que los definidos sobre la clase background serán los menos afectados.

TIPO DE TRAFICO	CONVERSCIONAL	STREAMING	INTERACTIVA	BACKGROUND
CARACTERÍSTICAS FUNDAMENTALES	Preservar la relación entre las distintas entidades de información de la comunicación. Patrón de conversación muy sensible al retardo.	Preservar la relación entre las distintas entidades de información de la comunicación.	Patrón petición respuesta. Preservar el contenido útil.	El destino no espera la información en un tiempo concreto. Preserva el contenido útil.
EJEMPLOS	Voz	Video bajo demanda	Acceso a páginas Web	e-mail

Tabla 2.2. Clasificación de servicios UMTS.

2.3.2.1. Clase Conversacional.

Orientada a servicios en tiempo real, como telefonía o videotelefonía principalmente, donde la información transmitida es muy sensible a los retardos. Los servicios de esta clase se ofrecen sobre circuitos conmutados CS, similar al que se ofrece en las redes GSM.

Los servicios definidos sobre la clase conversacional se caracterizan por un tiempo de transferencia muy bajo. Los valores límite vienen dados por la percepción humana, y se exige que las variaciones de retardo sean mínimas para que no sean perceptibles. Generalmente en estas aplicaciones no es necesario mantener la integridad de los datos, pues el hecho de retransmitir un paquete erróneo introduciría mucho retardo en el sistema y desde un punto de vista de calidad, es preferible descartar un paquete de voz erróneo que retrasar el flujo de datos para esperar a recuperarlo. Es la única clase de servicio de las 4 definidas, cuyas restricciones vienen impuestas directamente por la percepción humana.

2.3.2.2. Clase Streaming.

El modelo o patrón de flujo (*stream*) en tiempo real corresponde a aplicaciones multimedia basadas en técnicas de transferencia de datos que pueden ser procesadas como flujos estáticos y continuos.

Las aplicaciones *streaming* son muy asimétricas y son menos sensibles al retardo que los servicios descritos para clase conversacional. Se trata en general de servicios unidireccionales.

Estas técnicas tendrán un crecimiento importante con el auge de Internet debido a que la mayoría de usuarios no dispondrán de un acceso a suficiente velocidad para la descarga rápida de ficheros. Mediante el streaming, el navegador cliente accede a un servidor streaming y podrá comenzar a mostrar parte de los datos antes que el fichero completo haya sido transmitido. El navegador cliente recibirá los datos y debe ser capaz de realizar la

concatenación y consolidación de los mismos para su procesado y conversión en música o imágenes.

Los principales productos que necesitaran los servicios de la clase streaming serán el web broadcasting y los servicios bajo de demanda.

Los servicios de web broadcasting proporcionarán radio y televisión a través de Internet. Un ejemplo de servicio bajo demanda puede ser la conexión a un distribuidor de música en el móvil.

2.3.2.3. Clase Interactiva.

Dentro de esta clase se encuentran las aplicaciones en las que el usuario final, ya sea una persona o una máquina, se encuentra conectado solicitando datos desde un equipo remoto.

Las aplicaciones típicas que soportarán este tipo de tráfico están en la actualidad muy difundidas y serán los servicios de navegación web, el acceso a bases de datos, las transacciones de comercio electrónico, oficina móvil y conexión a Intranets, los juegos interactivos por Internet o aplicaciones basadas en localización.

Entre las características fundamentales de este tipo de servicios destaca el que respondan a un modelo o patrón petición respuesta en el que en el extremo desde el que se ha realizado la solicitud hay una entidad que espera la respuesta en un cierto plazo de tiempo. Otra de las características es que el contenido de los paquetes debe transferirse de forma transparente, es decir, con tasas de bit erróneo bajas.

2.3.2.4. Clase Background.

En este caso el usuario final envía y recibe ficheros de datos en *background* (de forma secundaria, en segundo plano). Las principales aplicaciones que se enmarcan dentro de esta clase serán e-mail, postales

electrónicas, descarga de bases de datos, envío de datos a servidores... y en general cualquier aplicación que no requiera de una transmisión inmediata y que pueda soportar retrasos de transferencia superiores a segundos o incluso a minutos.

Este tipo de tráfico es de naturaleza asimétrica y necesitara de una transmisión fiable donde se mantenga la integridad de los datos

2.4. Arquitectura del sistema UMTS.

Desde su mismo inicio UMTS fue concebido para ser compatible con GSM y constituir su evolución hacia la 3G. Por este motivo, la arquitectura de los sistemas de tercera generación no presenta grandes diferencias con la de los actuales sistemas GPRS. En este entono, el despliegue conjunto de la red para UMTS con la red existente de los sistemas de segunda generación, posibilita el uso de las *Core Networks* ya existentes en los sistemas 3G. El esquema básico de la arquitectura UMTS es el que se muestra en la Figura 2.4 [11].

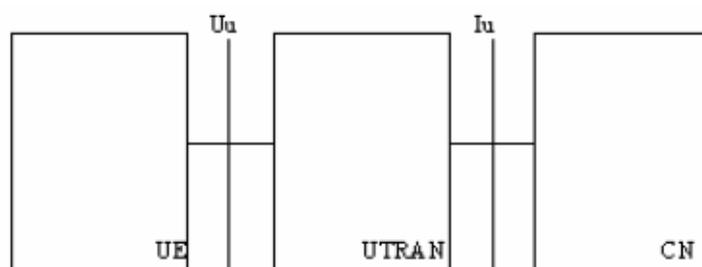


Figura 2.4 Arquitectura del sistema UMTS.

Los elementos que forman parte del esquema son los siguientes:

- Terminal de usuario (UE – *User Equipment*): es el conjunto de elementos que permiten que el usuario final pueda hacer uso del interfaz radio.
- UTRAN (UMTS *Terrestrial Radio Access Network*): se encarga de toda la funcionalidad radio del sistema.

- Red Troncal (CN – *Core Network*): parte fija de la red, que posibilita la interconexión de UTRANs y/o la conexión a redes externas.

En la siguiente figura se observan los componentes, de los anteriores elementos de red, así como los interfaces definidos por el 3GPP, que son los puntos de unión entre los diferentes elementos:

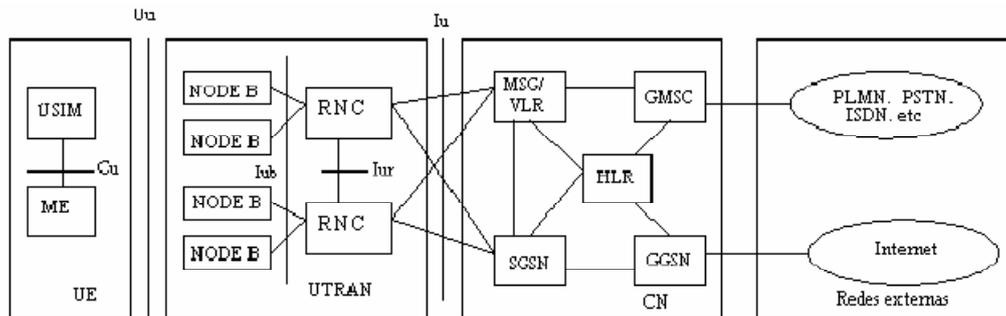


Figura 2.5 Elementos e interfaces de red en un nivel más profundo.

2.4.1. Terminales móviles.

El terminal de usuario (UE) consiste en dos partes:

- Equipo móvil (ME): es el terminal radio que permite la radiocomunicación.
- Módulo de identidad de Usuario UMTS (USIM – UMTS *Subscriber Identity Module*): Es la tarjeta que contiene información sobre la identidad del usuario, realiza las tareas de autenticación y guarda las claves necesarias para autenticación y encriptado.

2.4.2. Red de acceso radio (UTRAN).

La red de acceso en UMTS consta de uno o más subsistemas RNS (*Radio Network Subsystem*). Cada RNS cubre un conjunto de células UMTS, siendo el responsable de la gestión de los recursos asociados a ellas. Así pues, un RNS está formado por un controlador RNC (*Radio Network Controller*) y un conjunto de estaciones base (Nodos B).

Todos estos elementos funcionales definidos en la red de acceso radio se comunican entre sí por una serie de interfaces [11]:

- Interfaz RNC – Nodo B (IUB): Es la interfaz entre un Nodo B y su RNC. El RNC puede indicar al Nodo B mediante este enlace que establezca o libere los enlaces radio en el área de cobertura del grupo de celdas que el nodo controla.
- Interfaz RNC – RNC (IUR): Es la interfaz existente entre dos RNC pertenecientes a la red de acceso UTRAN. Este enlace no existía en los sistemas 2G, y su implantación es opcional. Permite liberar al Núcleo de Red de las decisiones relativas a traspasos entre celdas adscritas a RNC diferentes. En esta interfaz se sitúa la gestión de la movilidad de las conexiones radio dentro de la red de acceso.

La red de radio también posee dos tipos de interfaces externos:

- Interfaz radio (UU): Esta interfaz supone la verdadera revolución de UMTS, ya que en el tramo radioeléctrico se opta por una técnica de acceso múltiple DS-CDMA, frente a la TDMA utilizada en 2G.
- Interfaz Núcleo de Red – RNC (IU): Es el punto de conexión entre el subsistema de red radio (RNS) y el núcleo de red. Se estructura en tres componentes separadas, cada una destinada a un dominio concreto del núcleo de red:
 - Iu-CS: Conmutación en modo circuito, por donde se encaminan las conexiones en este modo.
 - Iu-PS: Conmutación en modo paquete.
 - Iu-BC: Difusión.

2.4.3. Núcleo de Red (Core Network).

El núcleo de red incorpora funciones de transporte y de inteligencia. Las funciones de transporte soportan el transporte de la información de tráfico y señalización, incluida la conmutación. Las funciones de inteligencia incluyen prestaciones como el encaminamiento y la gestión de la movilidad. A través del núcleo de red, UMTS se conecta con otras redes de telecomunicación, de forma que resulte posible la comunicación no sólo entre usuarios móviles de UMTS, sino también con los que se encuentran conectados a otras redes.

En una primera fase de UMTS, el núcleo de red se configura en dos dominios: de conmutación de circuitos CS (*Circuit Switch*) y de paquetes PS (*Packet Switch*). A través del modo CS se encaminarán los tráficos de voz y datos en modo circuito, mientras que el PS haría lo propio con datos en modo paquete. En una futura configuración se evolucionaría a una solución “todo IP” en la que el modo paquete absorbería todo el tráfico, incluyendo la voz.

Los elementos del Núcleo de Red, que aparecen en la figura 2.6, son los siguientes:

- Registro de Localización en zona habitual (HLR – *Home Location Register*): Es una base de datos que guarda los perfiles de los usuarios que generalmente se encuentran en esa zona. También se encarga de almacenar la posición de sus usuarios (referenciando a una MSC, VLR o SGSN), cuando no se encuentran en la zona. Esto sirve para enrutar las llamadas hacia el terminal cuando no se encuentra en la zona propia.
- Centro de Conmutación y Registro de Localización de Visitantes (MSC/VLR–*Mobile Services Switching Center/Visitor Location Register*): son el conmutador y la base de datos que sirven al usuario en una zona no habitual, para servicios de conmutación de circuitos. El VLR guarda una copia del perfil de usuario obtenida del HLR.

- GMSC (*Gateway MSC*): es el punto del conmutador donde la red se conecta a redes externas. Utilizado por servicios de conmutación de circuitos.
- SGSN (*Serving GPRS Support Node*): tiene una función muy parecida al MSC/VLR pero para servicios de conmutación de paquetes.
- GGSN (*Gateway GPRS Support Node*): tiene una función muy parecida al MSC pero para servicios de conmutación de paquetes.

2.5. Conceptos teóricos de acceso radio UMTS.

En este punto, se explica las diferentes tipos de técnicas de acceso al medio, técnicas de duplexado y técnica de ensanchamiento estandarizadas en UMTS.

2.5.1. Técnicas de acceso radio.

Uno de los puntos más importantes en un sistema móvil, como la telefonía celular, es la forma en cómo se accede al medio de comunicación. A estas técnicas se les conoce como "acceso múltiple". Es decir, una gran cantidad de suscriptores en un servicio móvil comparten un conjunto de canales de radio y cualquier usuario puede competir para acceder a cualquiera de los canales disponibles. Un canal puede ser visto como una porción del espectro radioeléctrico, el cual es asignado temporalmente para un propósito específico, tal como una llamada telefónica.

Una técnica de acceso múltiple define cómo se divide el espectro de frecuencias en canales y cómo los canales son asignados a los múltiples usuarios en el sistema. Visto de otra manera, el seleccionar una técnica eficiente de acceso múltiple significa que los operadores telefónicos obtendrán más ganancias al acomodar más usuarios en sus redes móviles.

Existen tres tipos básicos de técnicas de acceso, que son los siguientes (ver figura 2.7):

- **FDMA (Frequency Division Multiple Access):** Consiste en asignar una frecuencia diferente a cada transmisión durante todo el tiempo. Se asigna a cada uno de éstos una frecuencia específica, la cual debe estar dentro del rango de frecuencias que constituyen el canal total. En este esquema, a cada comunicación se le asigna un canal virtual particular.
- **TDMA (Time Division Multiple Access):** Consistente en la segmentación del tiempo en que los usuarios pueden acceder al medio para transmitir datos. De esta manera, todos los abonados comparten la totalidad del ancho de banda disponible pero sólo lo utilizan durante los períodos de tiempo en los que les es permitido.
- **CDMA (Code Division Multiple Access):** Consiste en asignar todo el espectro durante todo el tiempo a cada usuario, diferenciado del resto mediante la utilización de secuencias de códigos ortogonales entre sí, el cual se usa para codificar la señal de información que se desea transmitir. El receptor, conociendo la secuencia de código del usuario, decodifica la señal recibida y regenera los datos originales.

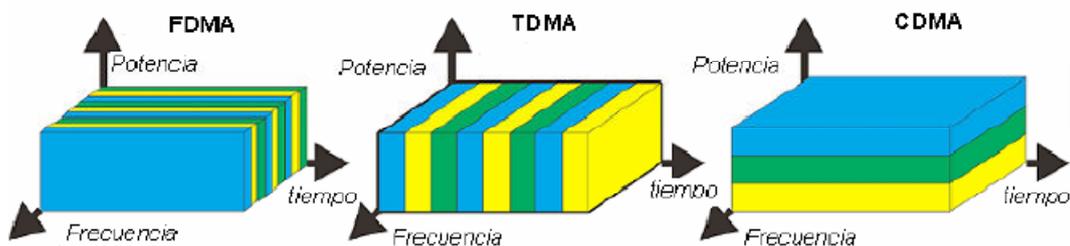


Figura 2.7 Tipos básicos de técnicas de acceso radio

2.5.2. Técnicas de duplexado.

Existen varias técnicas que permiten la comunicación Duplex (transmisión y recepción simultanea) en el sistema. Las técnicas de duplexado utilizadas en UMTS son:

- TDD (*Time Division Duplex*): cada sentido de la comunicación transmite en instantes diferentes de tiempo, y en intervalos temporales suficientemente pequeños como para no producir discontinuidades en la comunicación.



Figura 2.8 TDD; enviar ↑ y recibir ↓ en intervalos temporales pequeños

- FDD (*Frequency Division Duplex*): ambos sentidos transmiten simultáneamente pero en bandas de frecuencia distintas. Las bandas asignadas a UMTS en Europa, a repartir entre los operadores existentes en cada país, como se ve en la siguiente grafica:

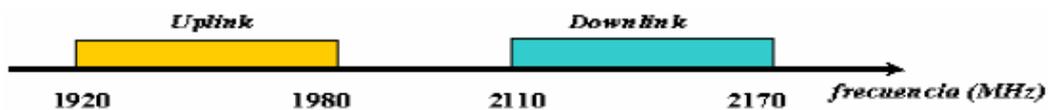


Figura 2.9 FDD; espectro dedicado para el enlace ascendente y descendente en UTRA

2.5.3. Ensanchado y desensanchado.

Los sistemas de espectro ensanchado (*Spread Spectrum*) son aquellos en los que el ancho de banda de las señales transmitidas es mucho mayor que el mínimo necesario para transportar la información. Existen diversas técnicas de ensanchado de espectro.

Las dos principalmente utilizadas son:

- FH-CDMA (Frequency Hopping Spread Spectrum)

- DS-CDMA (Direct Sequence Spread Spectrum)

Puesto que para UMTS se utiliza DS-CDMA, este punto presta más atención a esta última técnica de ensanchamiento.

2.5.3.1. FH-CDMA.

La tecnología de espectro ensanchado por salto en frecuencia (Frequency Hopping) consiste en transmitir una parte de la información en una determinada frecuencia durante un intervalo de tiempo llamado *dwell time* e inferior a 400 ms. Pasado este tiempo se cambia la frecuencia de emisión y se sigue transmitiendo a otra frecuencia. De esta manera cada tramo de información se va transmitiendo en una frecuencia distinta durante un intervalo muy corto de tiempo.

El orden en los saltos en frecuencia se determina según una secuencia pseudoaleatoria almacenada en unas tablas, y que tanto el emisor y el receptor deben conocer. Si se mantiene la sincronización en los saltos de frecuencias se consigue que, aunque en el tiempo se cambie de canal físico, a nivel lógico se mantiene un solo canal por el que se realiza la comunicación.

2.5.3.2. DS-CDMA.

En este proceso de ensanchado interviene una secuencia denominada código o secuencia de ensanchado, que es independiente de la señal de información y posee un ancho de banda mucho mayor.

La señal ensanchada por secuencia directa $s(t)$ se consigue multiplicando la señal de información, $d(t)$, por una señal binaria, $c(t)$ considerada aleatoria, con periodo de chip T_c mucho menor que el periodo de bit T_b de la señal original. Se denomina chip al periodo de símbolo de la señal de ensanchado. La figura siguiente muestra este proceso en el dominio temporal y frecuencial.

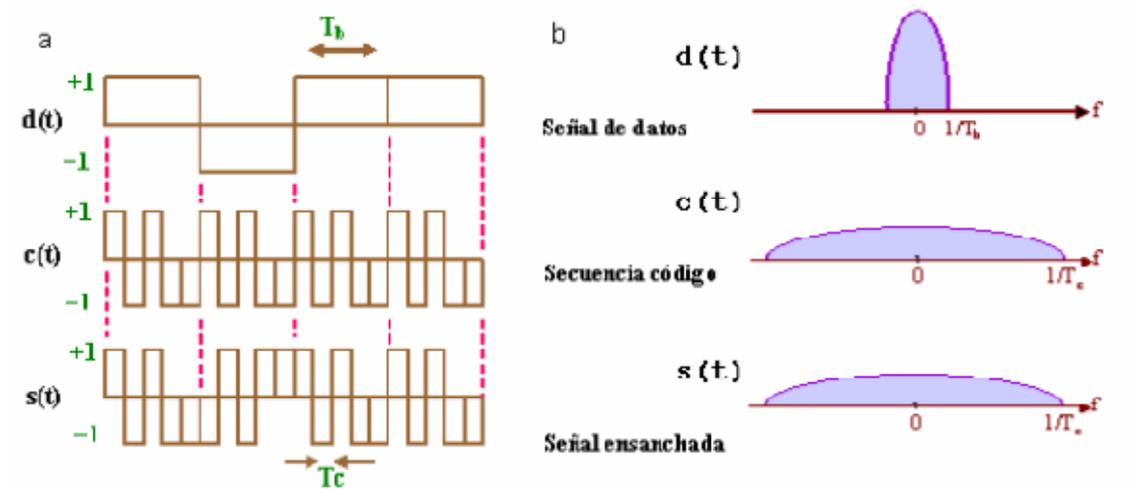


Figura 2.10 proceso de ensanchado; a: dominio temporal; b: dominio frecuencial.

La señal ensanchada será pues [11]:

$$s(t) = c(t) \times A \cdot d(t) \cdot \cos(\omega_c t + \theta) \quad (2.1)$$

donde:

$d(t) = \pm 1$ es la señal moduladora.

A es la amplitud de la señal .

θ es una fase aleatoria.

$c(t)$ es la señal de ensanchado.

La secuencia código (secuencia de ensanchado) es, a su vez, necesaria para recuperar la señal de información, por lo que debe ser conocida por el receptor.

Como se puede apreciar, ésta técnica de espectro ensanchado no es más que la transformación reversible de una señal, de forma que su energía se disperse ocupando una banda de frecuencias mucho más grande de la que ocupaba originariamente. A cambio de una mayor ocupación espectral,

respecto a los sistemas convencionales, estos sistemas consiguen las siguientes ventajas:

- Acceso múltiple: Múltiples usuarios usan el canal al mismo tiempo, coexistiendo múltiples señales DS-CDMA sobrepuestas en tiempo y frecuencia. En el receptor se produce el “desensanchado” para eliminar el código de ensanchado y recuperar la señal original. Esta operación concentra la potencia de la señal del usuario deseado en el ancho de banda de la información.
- Robustez: la transmisión es resistente a las interferencias multitrayecto, ya que las técnicas de espectro ensanchado permiten separar las réplicas recibidas de la señal, de forma que no sólo se evita que interfieran, sino que además pueden combinarse y lograr así una forma de diversidad, mejorando la calidad de recepción.
- Baja probabilidad de interceptación: Debido a que la señal DS-CDMA utiliza la banda de señal completa todo el tiempo, tendrá una muy baja potencia transmitida por Hz. Esto la hace difícil de detectar.

El proceso de ensanchado se realiza de la siguiente manera: En el transmisor se modula una señal portadora con una señal en banda base utilizando cualquier modulación convencional, usualmente suelen usarse [11] PSK, BPSK, D-BPSK, QPSK y MSK. Al mismo tiempo, se genera una señal pseudoaleatoria cuyo ancho de banda es mucho mayor que el de la señal útil, ya que se utiliza para ensanchar el espectro. La señal paso banda resultante de la primera modulación, es modulada otra vez utilizando el código de ensanchado.

En recepción, el desensanchado se produce al multiplicar la señal ensanchada por el mismo código que se utilizó para su ensanchado. El efecto que se consigue es el contrario logrando, por tanto, recuperar la señal original. Por último, la señal paso banda se demodula con la técnica que se haya elegido en transmisión.

Hay que tener en cuenta que en recepción, cuando se aplica la demodulación con la señal de ensanchado, la parte de la señal que no ha sido previamente ensanchada, sufre el efecto de ensanchado, de modo que su energía se dispersa. Debido a esto, la técnica de espectro ensanchado es muy resistente frente a interferencias de banda estrecha. Figura 2.11 muestra un esquema simple para el transmisor y el receptor de CDMA.

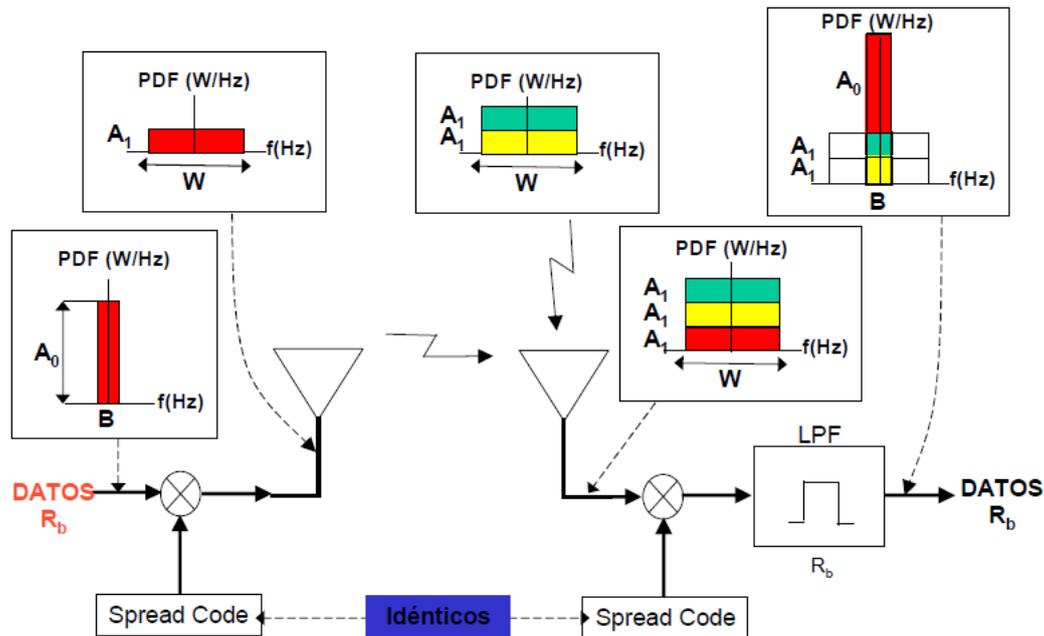


Figura 2.11 Esquema básico para la transmisión y recepción en DS-SS-SS-SS.

Una de las características importantes de los sistemas de espectro ensanchado es que, al compartir todos los usuarios la misma banda de frecuencias, las señales ensanchadas se van superponiendo unas sobre otras en el espectro. Esto hace que, en recepción, todas las señales ensanchadas con códigos distintos al código de la señal a recibir, se comporten como interferencias para el sistema. De esta forma, la relación señal a interferencia conseguida en recepción será menor a medida que el número de usuarios conectados aumenta. Por ello se dice que estos sistemas son *limitados en interferencia*, ya que aunque existan recursos de potencia y códigos disponibles en las estaciones base, no se podrá permitir el acceso a más usuarios si este nuevo acceso produce una disminución en la calidad tal que no supera la requerida por cada servicio.

En UMTS, el ensanchado se realiza en dos fases (ver figura 2.12), a partir de dos secuencias de código distintas:

- *Códigos de spreading o canalización*, que realizan el ensanchado sobre la señal de información. Estos códigos permiten diferenciar a distintos usuarios de una misma celda en el enlace descendente e identificar canales de un mismo usuario (datos, control...) en el ascendente, por tanto deben ser códigos ortogonales. Además, las secuencias de canalización han de tener la propiedad de mantener la ortogonalidad aun cuando los factores de ensanchado (SF) sean diferentes (puesto que su factor de ensanchado dependerá de la velocidad de los datos) para que el producto permanezca constante a 3.84 Mchip/s. Para cumplir todo lo anterior se van a usar códigos OVSF (Ortogonal Variable Spreading Factor).
- *Códigos de scrambling o aleatorización*, se aplican sobre la señal ensanchada anteriormente, y no supone ningún ensanchamiento, de modo que, la señal mantiene su ancho de banda. Estos códigos no son perfectamente ortogonales entre sí, pero si tienen buenas propiedades de correlación cruzada y autocorrelación. Las secuencias de scrambling se utilizan para identificar a las distintas celdas en el enlace descendente y para identificar usuarios en el ascendente.

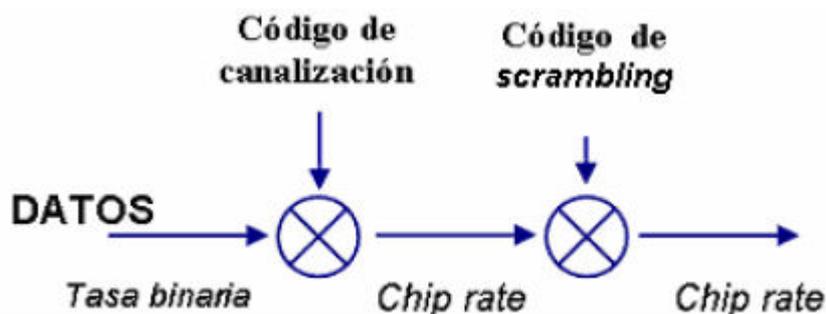


Figura 2.12 Relación entre Spreading y scrambling.

Como se ha comentado anteriormente, los códigos de canalización, son códigos ortogonales de factor de ensanchado variable o códigos OVFSF (Ortogonal Variable Spreading Factor).

Las secuencias OVFSF se obtienen según un esquema con forma de árbol. Partiendo de una secuencia de factor de ensanchado uno, es decir de la misma velocidad que la señal original, se derivan dos ramas correspondientes a una pareja de secuencias de factor de ensanchado dos. De cada una de ellas se derivan a su vez dos secuencias de factor cuatro y así sucesivamente.

Una propiedad muy importante de dichas secuencias es que considerando una secuencia concreta, todas las secuencias de las que ella derive y todas las que deriven de ella no serán ortogonales entre sí. Dicho de otro modo, una vez seleccionada una secuencia, no es posible seleccionar ninguna que pertenezca a alguna rama ligada a dicha secuencia.

Por ello, los sistemas que recurren a las secuencias OVFSF han de disponer de algoritmos que asignen las secuencias de la forma más eficiente posible, procurando aprovechar al máximo el árbol.

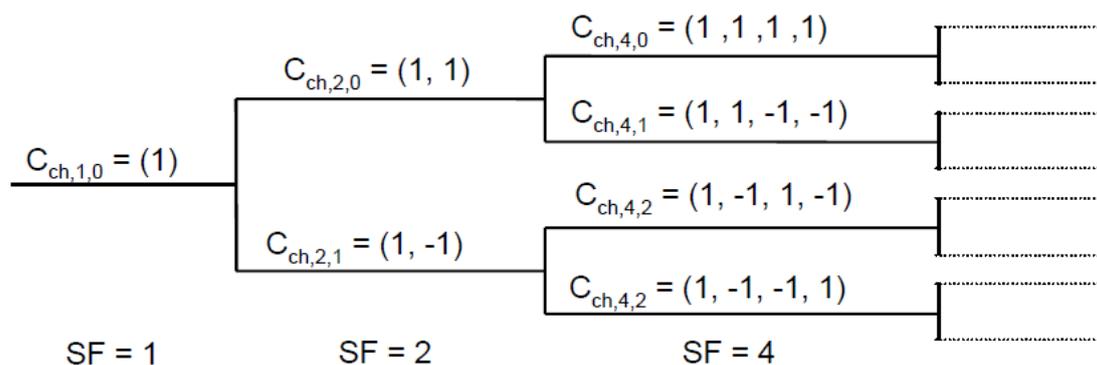


Figura 2.13 Árbol de códigos OVFSF

En el caso de UMTS, este árbol de códigos [11] podrá ser utilizado de forma total e independiente por cada una de las fuentes (estación base o terminal móvil), ya que como se dijo antes, cada una de ellas codificará adicionalmente con un código de *scrambling* distinto, permitiendo así la

reutilización completa del árbol de códigos OVSF. De esta forma, no es necesario coordinar el uso de los recursos del árbol de códigos entre diferentes terminales móviles y estaciones base.

2.6. W-CDMA Principales características.

En el sistema UMTS se emplea WCDMA, que es una tecnología de interfaz radio de banda ancha basada en CDMA. Teniendo en cuenta todo lo comentado en apartados anteriores, es posible concretar sus principales características:

- WCDMA es un sistema de acceso múltiple por división de código de secuencia directa (DS-SS-SS). La señal de información es ensanchada con una secuencia pseudoaleatoria formada por bits (a los que llamaremos chips) con una tasa de 3.84 Mcps.
- El ancho de banda por portadora se aproxima a los 5 MHz.
- Alta flexibilidad de servicio: Las tasas binarias que soporta son muy variables.
- Tiene dos modos básicos de operación: FDD y TDD.
- No necesita que sus estaciones base estén sincronizadas.
- Emplea detección coherente tanto en el uplink como en el downlink, basada en el uso de símbolos piloto o piloto común.
- Está preparado para el uso de métodos que favorezcan la recepción como detección multiusuario o el uso de antenas adaptativas inteligentes. Esto permite mejorar el funcionamiento del sistema en cuanto a capacidad y/o cobertura.

- El número de usuarios no está limitado de antemano, sin embargo el factor limitante de la capacidad es la interferencia mutua entre terminales.
- El interfaz está preparado para funcionar en conjunción con redes GSM.

2.6.1. Efecto multicamino y el receptor RAKE.

La propagación radio en sistemas móviles terrestres está caracterizada por la existencia de múltiples reflexiones, difracciones y atenuación de la energía de la señal. Todos estos efectos son causados por obstáculos naturales y edificios, produciendo la denominada propagación multicamino o multitrayecto. La propagación multicamino (ver figura 2.14) produce dos efectos importantes sobre las señales:

- La señal llegará al receptor con retardos temporales distintos, dependiendo del trayecto que siga.
- Dado un cierto retardo temporal, hay varios trayectos, muy similares en distancia, que puede recorrer la señal, produciendo un cambio de fase sobre la misma. Esto se traduce en una posible suma destructiva de las componentes multicamino.

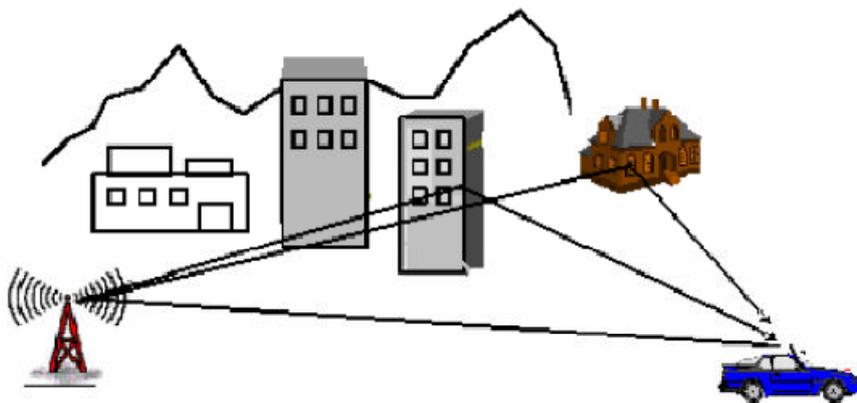


Figura 2.14 Un ejemplo del efecto multicamino

El canal móvil es en canal multitrayecto, el receptor recibe varias copias de la señal original con distintos retardos y niveles medios de potencia. Si estas señales llegan separadas al menos la duración de un chip del código, el receptor puede distinguirlas. En este momento, desde el punto de vista multicamino, estas señales retardadas pueden ser consideradas como interferencia y por tanto suprimidas en el proceso de 'desensanchado', como ya se vio anteriormente. Sin embargo se puede conseguir un beneficio aún mayor si en vez de descartar estas copias se las combina utilizando un receptor RAKE, ya que como se ha comentado W-CDMA está preparada para utilización de la diversidad multicamino.

El receptor RAKE consiste en un banco de correladores, cada uno de los cuales recibe una señal multicamino. En cada rama ("finger") del receptor RAKE la señal recibida es correlada por un código ensanchador, el cual está alineado en el tiempo con el retardo de la señal multicamino. Después de desensanchar las señales, éstas son amplificadas y combinadas.

La mejora se obtiene en cuanto a que el desvanecimiento sufrido por cada una de las señales multicamino es independiente del resto, ya que han seguido distinto camino desde el transmisor y el receptor. La siguiente figura ilustra el principio del receptor RAKE [11]. En la figura se utiliza la combinación de máximo ratio.

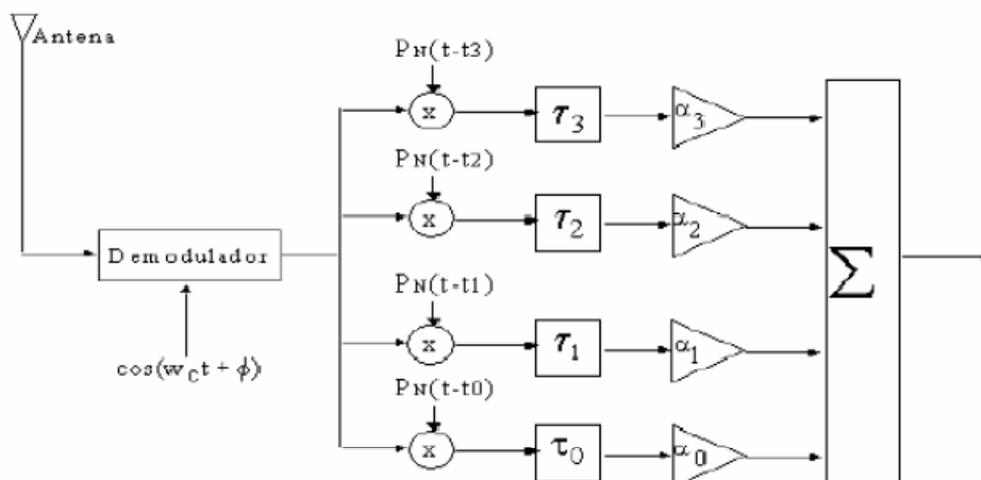


Figura 2.15 Esquema del receptor RAKE de 4 ramas

2.6.2. Control de potencia.

Como se ha dicho anteriormente, las transmisiones de un terminal móvil se consideran interferencias en otras comunicaciones. Si todos los terminales móviles transmitieran con igual potencia, la señal del móvil que estuviera más cerca de la estación base interferiría en gran medida a las señales provenientes de otros móviles más alejados. Por ello, y para evitar que ningún usuario pueda dejar fuera de servicio a una celda, se utiliza lo que se conoce como control de potencia. La misión principal de este proceso es conseguir que las señales recibidas en la estación base, procedentes de cada móvil, tengan aproximadamente el mismo nivel.

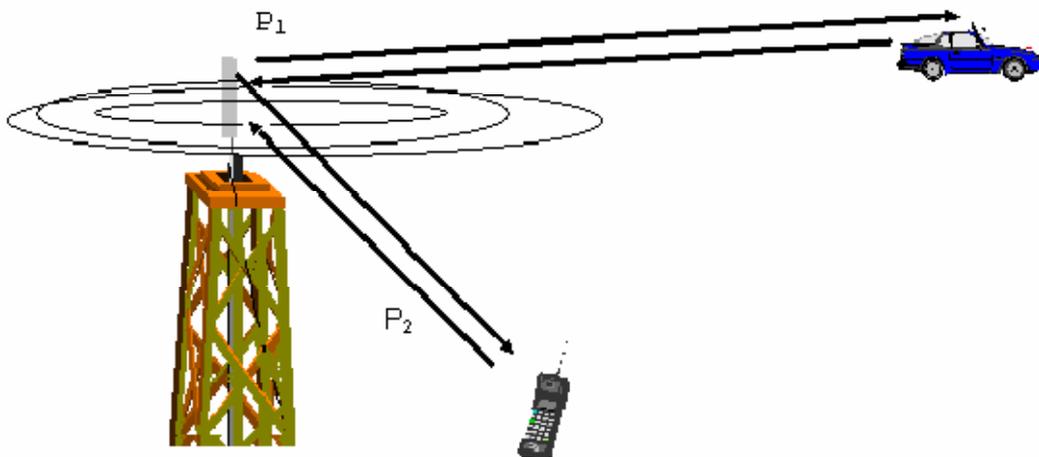


Figura 2.16 Esquema del control de potencia; P_1 y P_2 tienen aproximadamente el mismo nivel.

En WCDMA se utilizan dos mecanismos de control de potencia:

- Control de potencia en lazo cerrado de alta velocidad. El método consiste en:
 - Para cada móvil, la estación base obtiene la relación señal a interferencia (S/I) en recepción.
 - Compara este valor con una referencia, que llamaremos $(S/I)_{\text{objetivo}}$

- Si el valor recibido es menor que el esperado, le indica al terminal móvil que tiene que aumentar su potencia. En caso contrario, le indica al móvil que reduzca su potencia de transmisión

Este proceso se ejecuta con una frecuencia de 1.5 KHz.

- Control de potencia en lazo abierto, que consiste en la estimación de las pérdidas de propagación en el canal, por parte del terminal móvil. En función de esta estimación el terminal emite con mayor o menor potencia. El principal problema de este método es que al estar tan separados en la frecuencia el UL y el DL, la correlación es casi nula. Este hecho nos impide suponer que las pérdidas en el downlink (que son las que mide el móvil), serán las mismas que las del uplink (que son las que se deben corregir con el control de potencia).

El control de potencia en lazo abierto se utiliza en WCDMA en el inicio de las conexiones, para obtener una estimación inicial, pasando en ese momento a utilizar el control de potencia en lazo cerrado.

Existe otro control de potencia en WCDMA, que es el llamado control de potencia en lazo externo. Este control se realiza entre la RNC y la estación base. Su misión es la de obtener la $(S/I)_{\text{objetivo}}$, en función de unos determinados parámetros de calidad.

2.6.3. Mecanismos de *Handover*.

UMTS está destinado a usuarios móviles, que pueden desplazarse mientras están transmitiendo y recibiendo información. Dado que es un sistema celular, en multitud de ocasiones el abonado que está haciendo uso de la red cambiará de localización y por tanto, de célula. Estos cambios de célula se denominan traspaso o *Handover*.

Durante un handover, los enlaces radio y las conexiones han de ser cambiados desde la célula o sector actual hasta la célula o sector destino. Se han de liberar todos los recursos empleados en la célula antigua y han de reservarse los mismos en la célula destino, de forma que no se interrumpen las posibles comunicaciones activas por parte del abonado.

La utilización de técnicas de espectro ensanchado tiene dos peculiaridades. En primer lugar, hace que todas las células empleen todas las frecuencias disponibles, por lo que un usuario puede estar monitorizando una célula adyacente mientras se comunica a través de otra célula. En segundo lugar, el área de cobertura de las células es variable y está delimitada por la interferencia y por el número de usuarios. Este efecto, llamado *cell-Breathing* o respiración celular, puede provocar el cambio de célula incluso si el usuario no se desplaza.

Este caso se da cuando un usuario que se encuentra cerca del límite de cobertura de la célula accede a la Red en situaciones de alta carga de tráfico. Si el número de usuarios de la célula aumenta o se incrementan los requerimientos de tráfico de los abonados, la célula disminuirá su tamaño. El efecto es el mismo que si el abonado se fuese alejando de la estación base, llegando a ser necesario un *handover* o cambio de célula.

UMTS permite realizar cambios entre células que empleen el mismo método de acceso, entre células que usen UTRA-TDD y UTRA-FDD e incluso entre células GSM y células UMTS. En este último caso, si el destino es una célula GSM, no es posible mantener la totalidad de los servicios, siendo conservados los que pueda satisfacer la red GSM.

Existen tres tipos distintos de *Handover* en UTRA son:

- *Soft Handover*
- *Softer Handover.*
- *Hard Handover.*

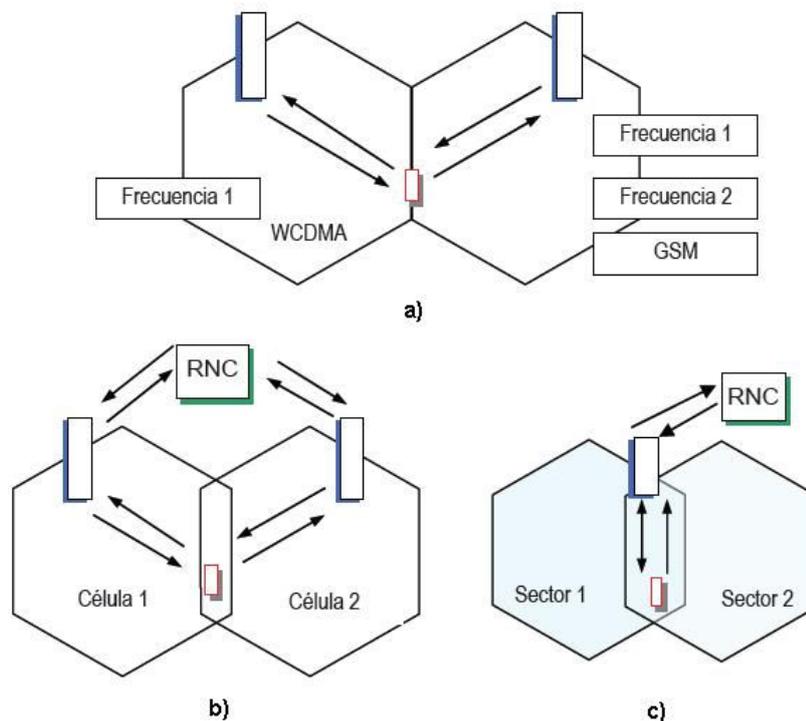


Figura 2.17 a) Hard Handover, b) Soft Handover, c) Softer Handover

2.6.3.1. Soft Handover.

En el Soft Handover, el terminal móvil está en el área de cobertura de dos o más estaciones base. Como todas emplean la misma portadora, el terminal puede monitorizar sus códigos. Cuando ha de producirse el cambio de célula, permanece durante un tiempo conectado a las dos o más estaciones base a la vez.

El principal propósito del soft handover es hacer uso de la macrodiversidad, que evita situaciones como los desvanecimientos de la señal. Al estar conectado a más de una estación base, el terminal se asegura caminos alternativos para las comunicaciones.

2.6.3.2. Softer Handover.

Como caso particular del Soft Handover, el Softer Handover se da cuando el cambio se produce entre dos sectores de la misma estación base.

2.6.3.3. Hard Handover.

Si el terminal realiza un handover que implica un cambio en la frecuencia empleada o una adquisición de códigos se denomina Hard Handover. Este tipo de handover se da principalmente cuando en la célula destino no emplea la misma técnica de acceso que la célula origen o pertenece a otra red distinta.

2.7. Aspectos de diseño.

A la hora de diseñar una red UMTS, aparecen una serie de peculiaridades que hacen que el proceso tenga diferencias fundamentales con respecto al diseño de otras redes como GSM. Estas peculiaridades provocan que el proceso de planificación de la red sea muy importante además de complicado.

2.7.1. Calidad-Capacidad.

A la hora de diseñar una red UMTS, tanto calidad como capacidad deben tratarse conjuntamente. En UMTS, la calidad condiciona la capacidad del enlace, ya que, como se dijo en el capítulo 2.5.2.2, la interferencia aumenta con el número de transmisiones simultáneas (separadas por secuencias diferentes cada una).

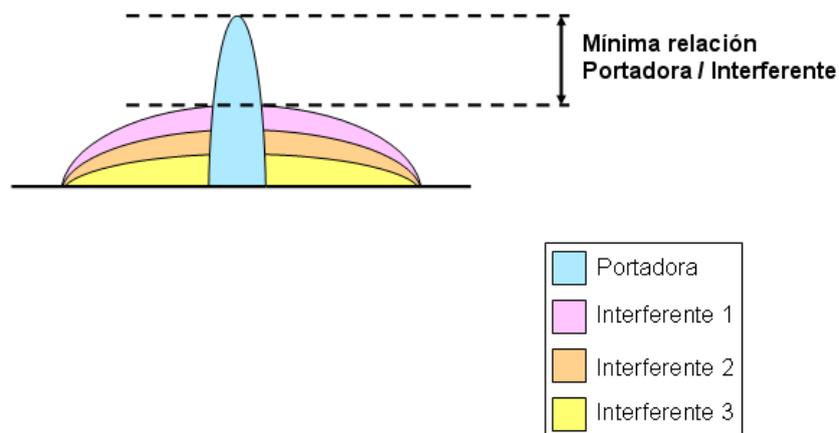


Figura 2.18 Medida de la calidad de una señal en UMTS.

2.7.2. Capacidad-cobertura.

Del mismo modo, en UMTS, capacidad y cobertura deben ser tratadas en conjunto a la hora de diseñar la red, ya que en caso de incrementarse la carga del sistema, la cobertura del mismo decrece (*cell breathing*).

A medida que el tráfico por estación crece, los radios de cobertura efectivos de las estaciones empiezan a disminuir. Esto quiere decir que un determinado despliegue, para garantizar unos objetivos de cobertura, sólo será efectivo si el tráfico cursado se ajusta a los parámetros de diseño. Cuando la demanda de tráfico supera el nivel planificado, no es posible garantizar la cobertura. Esta situación puede resolverse de dos formas [1], [3]:

- Añadiendo una portadora más (con lo que el tráfico por portadora disminuye y se incrementa la cobertura).
- Densificando la estructura celular.

Ambas soluciones tienen sus ventajas e inconvenientes.

Respecto de la primera, hay que tener en cuenta que el número de portadoras disponibles para cada operador es escaso. Instalar una segunda portadora en un emplazamiento supone, para los mismos objetivos de

cobertura y grado de servicio, incrementar la capacidad del mismo en algo más de un cien por ciento. Pero el principal problema radica en las dificultades que entraña para un sistema CDMA el traspaso entre las distintas frecuencias, por lo que conviene limitar en la medida de lo posible las zonas en las que debe producirse. Por tanto, no es una buena solución para proporcionar capacidad, cuando el crecimiento de la demanda se produce en zonas puntuales (hot spots), pero puede serlo si el tráfico crece de forma más o menos uniforme en una zona más extensa.

El principal inconveniente de la segunda opción es su mayor coste económico. Por otro lado, el proceso de densificación debe realizarse procurando situar los nuevos emplazamientos allí donde se genera la demanda, si se quiere optimizar la eficiencia espectral.

Una estructura jerárquica (macrocelular/microcelular) con distintas frecuencias plantea los mismos problemas que se comentan más arriba, además de otros adicionales, como es la posibilidad de que se produzcan interferencias de canal adyacente (si las frecuencias de cada capa lo son), cuando, por ejemplo, un móvil conectado a una macrocélula se encuentra muy próximo a una microcélula.