



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
MÉXICO

UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

Facultad de Estudios Superiores

"ARAGÓN"

"Análisis del Funcionamiento de la
Telefonía Celular de Tercera
Generación."

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO MECANICO ELECTRICO

PRESENTAN:

BAENA PEÑA OSWAL FREDERIC.
REYES REYES AURELIO.

ASESOR: ING. PRÓCORO PABLO LUNA ESCORZA.





Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Todo mi agradecimiento

A Díos

Por darme todo lo que tengo y soy...

A mis Padres y Abuelos a los que amo...

A mis hermanos: Fred y Freud y a mis primos: Jonathan, Cristian e Itzel

Por todos momentos vividos...

A mi director de tesis Ing. Prócoro Pablo Luna Escorza

Por su apoyo en este trabajo...

A tres personas muy especiales Gabriela, Milvig y Liliana...

A todos mis amigos...

Atte: Ing. Oswal Frederic Baena Peña.

A Díos

Por permitirme vivir y darme la oportunidad de compartir todas mis metas...

A mi Esposa e Hija

Por confiar en mi y creer en mis sueños...

A mis Padres

Por encaminarme en todo y darme su apoyo incondicionalmente durante toda mi vida y educar en mí las virtudes necesarias para poder ser lo que soy...

A mis Hermanos

Por la compañía y el apoyo que me brindan...

A Ing. David B. Estopier Bermúdez.

Por darnos todo su apoyo en la realización de este trabajo. Y participar en nuestros intereses a fondo de nuestro tema de tesis...

A Ing. Prócoro Pablo Luna Escorza.

Por apoyarme en el desarrollo de esta investigación y ofrecerme sus consejos.

Atte: Ing. Aurelio Reyes Reyes.



ÍNDICE.

ÍNDICE.	1
OBJETIVO.	5
JUSTIFICACIÓN.	6
INTRODUCCIÓN.	7
I. CONCEPTOS BÁSICOS	9
I.1. ESTRUCTURA GENERAL DE UN SISTEMA DE COMUNICACIONES.	9
I.2. TÉCNICAS DE MODULACIÓN.	11
I.2.1. MODULACIÓN ANALÓGICA.	12
I.2.1.1. MODULACIÓN EN AMPLITUD MODULADA (AM).	12
I.2.1.2. MODULACIÓN EN FRECUENCIA (FM).	15
I.2.1.3. MODULACIÓN DE FASE (PM).	17
I.2.2. MODULACIÓN DIGITAL.	17
I.2.2.1. ASK (AMPLITUDE SHIFT KEYING).	17
I.2.2.2. FSK (FREQUENCY SHIFT KEYING).	18
I.2.2.3. PSK (PHASE SHIFT KEYING).	19
I.2.2.4. MODULACIÓN QAM, MSK Y QPSK.	20
I.2.3. MODULACIÓN POR CODIFICACIÓN DE PULSOS.	22
I.2.3.1. MUESTREO.	23
I.2.3.2. CUANTIFICACIÓN.	23
I.2.3.3. CODIFICACIÓN.	24
I.2.3.4. MULTIPLEXACIÓN.	24
II. HISTORIA DE LA TELEFONÍA CELULAR	26
II.1. ANTECEDENTES.	26
II.2. RADIO CELULAR.	27
II.3. SITUACIÓN EN MÉXICO DE LOS SISTEMAS CELULARES.	28
III. TELEFONÍA MÓVIL DIGITAL	30
III.1. SISTEMAS DE RADIO DE TELEFONÍA MÓVIL.	30
III.2. CONCEPTOS BÁSICOS DEL TELÉFONO CELULAR.	31
III.2.1. REUTILIZACIÓN DE LA FRECUENCIA.	32
III.2.2. INTERFERENCIA.	34
III.2.3. DIVISIÓN DE CÉLULA.	35
III.2.4. SECTORIZACIÓN.	35
III.2.5. SEGMENTACIÓN Y DUALIZACIÓN.	36
III.2.6. CELDAS HEXAGONALES.	36
III.2.7. CELDAS OMNIDIRECCIONALES.	39
III.2.8. CELDAS SECTORIZADAS.	40
III.2.9. CALCULO DE COBERTURAS EN GSM.	42
III.2.9.1. MODELADO DE TRÁFICO Y CAPACIDAD DE LA RED.	43
III.2.9.2. PLANIFICACIÓN DE FRECUENCIAS.	44
III.2.9.3. ASPECTOS PRÁCTICOS.	47
III.2.9.4. HERRAMIENTAS DE PLANIFICACIÓN AVANZADAS.	48
III.2.9.4.1. MODELOS AVANZADOS PARA LA PREDICCIÓN DE LA COBERTURA RADIOELÉCTRICA.	49
III.2.9.5. OPTIMIZACIÓN AUTOMÁTICA.	50
III.3. FUNCIONAMIENTO DE UN SISTEMA CELULAR TÍPICO.	52
III.3.1. SEÑALIZACIÓN.	53
III.3.2. LLAMADAS DE TELÉFONO POR CABLE A MÓVIL.	53
III.3.3. LLAMADA DE TELÉFONO MÓVIL A TELÉFONO DE CABLE.	53
III.3.4. LLAMADA DE MÓVIL A MÓVIL.	53
III.4. SISTEMAS DE TMA CELULAR DIGITAL.	54
III.4.1. ACCESO MÚLTIPLE TDMA.	55



IV. EVOLUCIÓN DE LA TELEFONÍA DIGITAL.	57
IV.1. EVOLUCIÓN HISTÓRICA.	57
IV.1.1. CRONOLOGÍA DE GSM.	58
IV.2. SISTEMA DE TELEFONÍA MOVIL DIGITAL GSM.	58
IV.2.1. INTRODUCCIÓN.	58
IV.2.2. SERVICIOS Y FACILIDADES DEL SISTEMA GSM.	58
IV.2.2.1. TELESERVICIOS.	59
IV.2.2.2. SERVICIOS DE PORTADORES.	59
IV.2.2.3. SERVICIOS SUPLEMENTARIOS.	59
IV.2.2.4. MODULO DE IDENTIDAD DE ABONADO.	59
IV.2.2.5. FUNCIONES DE SEGURIDAD.	60
IV.3. ARQUITECTURA FUNCIONAL E INTERFACES DE UN SISTEMA GSM.	60
IV.3.1. SISTEMA DE CONMUTACIÓN (NSS).	61
IV3.1.1. HLR (HOME LOCATION REGISTER) - REGISTRO DE POSICIÓN BASE.	61
IV3.1.2. MSC - CENTRAL DE CONMUTACIÓN DE SERVICIOS MÓVILES.	63
IV3.1.3. VLR - REGISTRO DE POSICIÓN VISITADO.	63
IV.3.2. SISTEMA DE ESTACIÓN BASE (BSS).	63
IV.3.2.1. BSC - CONTROLADOR DE ESTACIONES BASE.	63
IV.3.2.2. BTS - ESTACIONES BASE.	64
IV.3.3. SISTEMA DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO (OSS).	64
IV.3.3.1. AC - CENTRO DE AUTENTIFICACIÓN.	64
IV.3.3.2. EIR - REGISTRO DE IDENTIFICACIÓN DE ESTACIONES MÓVILES.	65
IV.4. INTERFAZ DE RADIO.	66
IV.4.1. BANDA DE FRECUENCIAS USADO EN GSM.	66
IV.4.2. ESTRUCTURA DEL MÚLTIPLEXAJE DE TIEMPO.	68
IV.4.3. MODULACIÓN GMSK UTILIZADA PARA GSM.	70
IV.4.4. CANALES FÍSICOS Y CANALES LÓGICOS.	70
IV.4.4.1. CANALES DE TRÁFICO.	71
IV.5. CODIFICACIÓN DE LA INFORMACIÓN.	74
IV.5.1. CODIFICACIÓN DE FUENTE.	74
IV.5.2. CODIFICACIÓN DE CANAL.	74
IV.6. GESTIÓN DE LOS RECURSOS DE RADIO.	75
IV.6.1. HANDOVER EN GSM.	76
IV.6.2. CONTROL DE POTENCIA.	76
IV.6.3. CONTROL DE LA DESVIACIÓN EN TIEMPO.	76
V. UMTS (SISTEMA UNIVERSAL DE TELECOMUNICACIÓN MÓVIL)	78
V.1. INTRODUCCIÓN A LA TERCERA GENERACIÓN (3G).	78
V.1.1 ESTANDARIZACIÓN DEL UMTS.	81
V.1.2 ARQUITECTURA GENERAL DE LA RED UMTS.	83
V.2. REGULACION DEL ESPECTRO.	84
V.3 ARQUITECTURA DE LA RED DE ACCESO UMTS (UTRAN).	86
V.3.1 ARQUITECTURA DE PROTOCOLO DEL INTERFAZ RADIO.	88
V.3.1.1. CAPA FÍSICA.	89
V.3.1.1.1 ARQUITECTURA DE LA CAPA FÍSICA.	95
V.3.1.1.2. SERVICIOS DE LA CAPA FÍSICA.	96
V.3.1.1.2.1. SERVICIOS DEL SUBNIVEL FÍSICO.	96
V.3.1.1.2.2. SERVICIOS DEL SUBNIVEL DE TRANSPORTE.	99
V.3.1.1.3. TIPOS DE CANALES DE TRANSPORTE.	103
V.3.1.1.4. FUNCIONES DE LA CAPA FÍSICA.	105
V.3.1.1.4.1. FUNCIONES DEL SUBNIVEL FÍSICO.	105
V.3.1.1.4.2. FUNCIONES DEL SUBNIVEL DE TRANSPORTE.	110
V.3.1.2. CAPA MAC.	114
V.3.1.2.1. ARQUITECTURA DE LA CAPA MAC.	114



V.3.1.2.2. SERVICIOS DE LA CAPA MAC.	115
V.3.1.2.3 FUNCIONES DE LA CAPA MAC.	117
V.3.1.3. CAPA RLC.	119
V.3.1.3.1. ARQUITECTURA DE LA CAPA RLC.	119
V.3.1.3.2. SERVICIOS Y FUNCIONES DEL MODO TRANSPARENTE TM DE LA CAPA RLC.	120
V.3.1.3.3 SERVICIOS Y FUNCIONES DEL MODO SIN CONFIRMACIÓN UM DE LA CAPA RLC.	122
V.3.1.3.4. SERVICIOS Y FUNCIONES DEL MODO CON CONFIRMACIÓN DE LA CAPA RLC.	123
V.3.1.3.5 OTROS SERVICIOS DE LA CAPA RLC.	124
V.3.1.4. CAPA BMC.	124
V.3.1.4.1. ARQUITECTURA DE LA CAPA BMC.	124
V.3.1.4.2. SERVICIOS DE LA CAPA BMC.	125
V.3.1.4.3. FUNCIONES DE LA CAPA BMC.	125
V.3.1.5. CAPA PDPC.	126
V.3.1.5.1 ARQUITECTURA DE LA CAPA PDPC.	126
V.3.1.5.2. SERVICIOS DE LA CAPA PDPC.	126
V.3.1.5.3. FUNCIONES DE LA CAPA PCPC.	126
V.3.1.6. CAPA RRC.	127
V.3.1.6.1. ARQUITECTURA DE LA CAPA RRC.	127
V.3.1.6.2. ESTADOS DE SERVICIO DEL RRC.	128
V.3.1.6.3. FUNCIONES DE LA CAPA RRC.	129
V.3.1.6.3.1. PROCEDIMIENTOS DE CONTROL DE LA CONEXIÓN RRC.	129
V.3.1.6.3.2. PROCEDIMIENTOS DE CONTROL DE LAS PORTADORAS RADIO, CANALES FÍSICOS Y CA	133
V.3.1.6.3.3. PROCEDIMIENTOS DE CONTROL DE LA MOVILIDAD DE CONEXIÓN RRC.	134
V.3.1.6.3.4. PROCEDIMIENTOS DE MEDIDA.	136
V.3.1.6.3.5. PROCEDIMIENTOS GENERALES.	136
V.3.2. ARQUITECTURA DE PROTOCOLOS DE LOS INTERFACES IU, IUB, IUR.	136
V.3.3. HANDOVER EN UMTS.	142
V. 3. 3. 1. CARACTERÍSTICAS DEL HANDOVER.	142
V. 3. 3. 2. INTRODUCCIÓN DEL HANDOVER EN EL MODELO CONCEPTUAL DE LA RI.	144
V. 3. 3. 3. EL PLANO DE SERVICIOS.	145
V. 3. 3. 4. EL PLANO FUNCIONAL GLOBAL.	145
V. 3. 3. 5. EL PLANO FUNCIONAL DISTRIBUIDO.	146
V. 3. 3. 6. EL PLANO FÍSICO.	149
V.3.4. EJEMPLOS DE PROCEDIMIENTOS UTRAN: ESTABLECIMIENTO DE UNA LLAMADA ORIGINADA	150
V.3.5. EVOLUCIÓN DE LA RED DE ACCESO.	151
V.4 NÚCLEO DE RED (CORE NETWORK).	151
V.5 TERMINAL UMTS (UE).	154
V.5.1 ARQUITECTURA DE LA TERMINAL.	154
V.5.2 DIFERENCIAS ENTRE LAS TERMINALES.	159
V.5.3 CAPACIDADES DE LAS TERMINALES.	162
V.5.4 SUSCRIPCIÓN DE UMTS.	162
V.5.5. INTERFAZ DEL USUARIO.	164
V.6. DISEÑO DE UNA RED DE TELEFONÍA CELULAR DE 3G.	165
V. 6. 1. PRESUPUESTO Y COBERTURA DEL ACOPLAMIENTO.	167
V. 6. 2. PLANEAMIENTO DE CAPACIDAD DE UMTS.	169
V.7. SERVICIOS EN EL AMBIENTE UMTS.	171
V.7.1. EQUIPOS DE USUARIO.	171
V.7.2. TERMINALES.	172
V.7.3. APLICACIONES.	173
V.7.4. CALIDAD DE SERVICIO EN UMTS (QOS).	175
V.7.5. VENTAJAS DE UMTS.	177
CONCLUSIONES	180
APÉNDICE A	181



NORMAS.	181
APÉNDICE B	184
GLOSARIO.	184
APÉNDICE C	190
COMPONENTES BÁSICOS DE UNA ESTACIÓN DE TELEFONÍA MÓVIL.	190
ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO.	190
ANTENAS Y SUS HACES.	191
ANTENAS DIRECCIONALES.	191
TOPOLOGÍAS DE LAS UBICACIONES EN ZONA URBANA.	192
SERVICIO GSM-900.	193
REFERENCIAS	194



OBJETIVO.

El objetivo del presente trabajo es el de analizar el funcionamiento de la telefonía móvil ya que a sufrido varias etapas de evolución con las cuales se ha llegado a uno de los avances principales en la tecnología de nuestros días.

El uso de la tecnología UMTS es una opción más para la comunicación de las nuevas generaciones.

La introducción de los sistemas de tercera generación dará solución a la problemática de cobertura en zonas donde la telefonía tradicional difícilmente tendría acceso por factores netamente económicos.

UMTS proporcionará ante todo servicios útiles, terminales simples y una buena relación calidad-precio.



JUSTIFICACIÓN.

La telefonía móvil es una tecnología de gran demanda y desarrollo, la cual ha experimentado cambios y avances hacia una mejor evolución.

Es por eso que al realizar un análisis del avance de las comunicaciones móviles y al percatarnos que el desarrollo de nuevas tecnologías es cada vez más inminente, buscamos que la tecnología de tercera generación sea una nueva opción de comunicación, con la cual nos acercaremos a una nueva forma de ver las telecomunicaciones.



INTRODUCCIÓN.

En esta tesis se mostrará el funcionamiento de la telefonía celular de tercera generación basado en el estándar UMTS.

Pretendemos dar una explicación sobre los conceptos básicos de telecomunicaciones, basándonos en la historia de la telefonía celular, pasando por el desarrollo de la telefonía en México hasta el surgimiento del estándar UMTS, el cual ha sido creado para satisfacer los nuevos requerimientos que día a día se presentan en los avances tecnológicos. También involucramos conceptos fundamentales dentro de la telefonía móvil para así comprender de una manera más clara lo que nos interesa abordar. Además de explicar la evolución de la telefonía celular digital y funcionamiento del estándar GSM, el cual ha sido actualizado poco a poco de tal manera que es una breve transición hacia el UMTS.

Nuestro objetivo principal es mostrar las ventajas que ofrece el surgimiento del estándar UMTS, ya que en la primera generación los sistemas de telefonía móvil no eran compatibles entre sí, lo cual generó la necesidad de crear una tecnología compatible en todo el mundo, así como mayores beneficios para los usuarios.

UMTS es un estándar de telefonía global y que no importando en que parte del mundo se este, con el sólo hecho de marcar el mismo número del país de origen, se nos puede localizar en cualquier parte del mundo.

En nuestro país actualmente se utiliza la tecnología de segunda generación (GSM) la cual es manejada en gran parte del mundo, ya que los servicios que ofrece este sistema han tenido un gran avance en la telefonía móvil.

A la tercera generación se le denomina UMTS (Universal Mobile Telecommunication System), surgió con la necesidad de crear un estándar nuevo basado en la implementación física de la UTRAN (UMTS Terrestrial Radio Access Network) con una tecnología de acceso de radio WCDMA y en la parte de aplicación una red central basada en el estándar GSM/GPRS.

UMTS permite mayor capacidad y flexibilidad en su interfaz aérea, al permitir mezclar diferentes tipos de portadora de radio al mismo tiempo, permitiendo los servicios de tiempo real, utilizando canales dedicados y los servicios de tiempo no real utilizando los canales de comunicación compartida, los cuales pueden ser cambiados dinámicamente.

Otra gran diferencia que tiene UMTS con respecto a GSM y GPRS es la velocidad de transferencia de datos, ya que en GSM puede alcanzar una velocidad de 9.6 Kbps y en GPRS puede llegar a una velocidad de 144 Kbps mientras que la velocidad de UMTS es de 2 Mbps.



Capítulo I:

CONCEPTOS BÁSICOS



I. CONCEPTOS BÁSICOS

I.1. ESTRUCTURA GENERAL DE UN SISTEMA DE COMUNICACIONES.

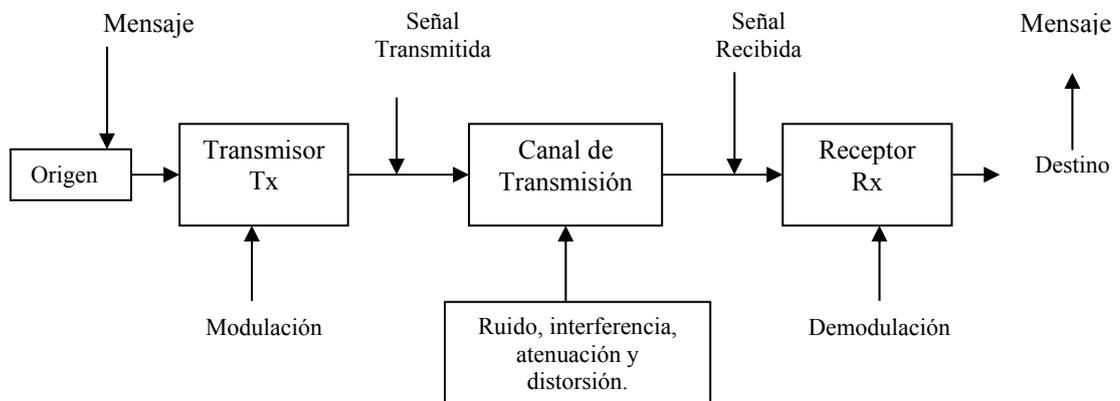
Es indispensable conocer la estructura general de un sistema de comunicaciones eléctrico, los procedimientos que se llevan a cabo sobre las señales en ellos y los factores que alteran a las señales en una transmisión.

Comunicación: Es el proceso en el cual se transmite información en el tiempo o espacio desde un punto llamado fuente a otro llamado destino.

Información: Es el mensaje que el receptor ignoraba, hasta antes de recibirlo, el mensaje es la materialización física de la información.

Señal: Es un fenómeno físico en la cual se puede variar una o más características para representar la información, por ejemplo; una onda acústica o una onda electromagnética, y la característica a variar puede ser el campo eléctrico, una diferencia de potencial.

Un sistema de comunicaciones Es la totalidad de elementos o mecanismos que hacen posible el enlace entre transmisor y receptor para poder intercambiar información. A continuación se muestra el diagrama de un sistema de comunicaciones típico:



El transmisor es el encargado de acoplar la señal a las características del medio de transmisión para poder llegar al punto del receptor, para que el proceso de transmisión sea adecuado, la señal se procesa por medio de la modulación.

La modulación es el proceso mediante el cual algunas de las características de la forma de onda de la portadora se hacen variar en correspondencia 1 a 1 con la señal que contiene la información la cual se conoce como mensaje., es decir; es la variación en forma sistemática de algunos de los parámetros de señal de alta frecuencia o portadora en función de otra señal de baja frecuencia llamada señal de información.

El canal de transmisión es el medio a través del cual se realiza la transmisión de información, como por ejemplo: un par de alambre, cable coaxial, fibra óptica, etc. Los



cuales deben asegurar la transmisión de las señales de información en un sentido entre los dos puntos.

El receptor extrae la señal deseada que le entrega el medio de transmisión a través del proceso llamado demodulación o detección. Este elemento realiza el proceso inverso al que lleva a cabo el transmisor mediante los elementos siguientes:

- Demodular.
- Decodificar.

El proceso donde se elige la mejor forma de detectar el mensaje se llama decodificar. Este proceso está constituido para optimizar la detección de posibles errores en el receptor sobre la señal que está siendo transmitida.

Por otra parte la demodulación es el proceso mediante el cual se recupera la información transmitida separándola de la señal portadora.

Los factores que afectan el canal de transmisión son:

- Ruido.
- Interferencia.
- Atenuación.
- Distorsión.

El ruido son señales aleatorias de tipo eléctrico originadas generalmente por fenómenos naturales dentro o fuera del sistema. Existen ruidos internos y externos donde el externo se puede disminuir, pero el interno es más difícil de disminuir. Una cosa importante respecto al ruido es que no puede eliminarse totalmente de ningún sistema.

Interferencia es la contaminación de nuestra señal debido a otras señales que presentan las mismas características que la señal transmitida.

Atenuación es la pérdida progresiva de la potencia de la señal en relación a la distancia que recorre.

Distorsión es la alteración de la señal debido a la respuesta imperfecta del sistema.

Por lo tanto:

“Un sistema de comunicaciones inalámbrico, es aquel medio que hace posible la comunicación entre dos puntos, mediante la utilización de un enlace radioeléctrico, o sea, que se utilizara el espacio atmosférico como canal de transmisión y las ondas electromagnéticas como señales de información”.



En la figura I.1, se muestra un sistema inalámbrico típico:

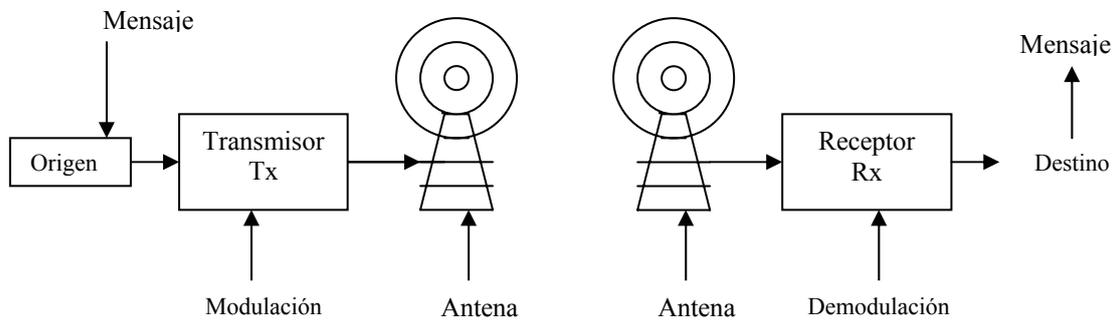


Figura I.1.

Como se ve en la figura I.1 la única diferencia con nuestro sistema de comunicaciones tradicional es que se utiliza una antena, el cual es un dispositivo mecánico utilizado para la radiación o recepción de “ondas de radio”, es decir, es la estructura de transmisión entre el espacio libre y un dispositivo guía¹.

I.2. TÉCNICAS DE MODULACIÓN.

Las razones por las cuales es necesario modular, son las siguientes:

- Para evitar mala respuesta del sistema.
- Para poder transmitir por medio de radiación.
- Para mejorar la relación señal a ruido.
- Asignar frecuencias.
- Se puede multicanalizar.

Existen básicamente dos tipos de modulación:

- Modulación analógica o continua.
- Modulación digital o discreta.

¹ Definición dada por el Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE).



I.2.1. MODULACIÓN ANALÓGICA.

Se la conoce de esta manera, porque la señal portadora es una señal continua variable en el tiempo, generalmente es una señal sinusoidal de mucho mayor frecuencia que la señal de información. Las técnicas más utilizadas en los sistemas celulares son las técnicas de modulación angular; la razón es las mayores ventajas que tiene sobre la modulación en amplitud, como por ejemplo, la posibilidad de tener una respuesta a cero Hz y el rechazo a grandes pulsos de ruido.

La modulación en ángulo es la técnica en la que se hace variar el ángulo de la portadora en alguna forma con una señal moduladora, y existen dos formas para realizar este tipo de modulación:

- Modulación en frecuencia (FM.).
- Modulación en fase (PM.).

I.2.1.1. MODULACIÓN EN AMPLITUD MODULADA (AM).

Las señales de información deben ser transportadas entre un transmisor y un receptor sobre algún medio de transmisión. Sin embargo, las señales de información no se encuentran preparadas, en la mayoría de los casos, para transmitirse; así se hace necesario transformar la información de su forma original a una forma más adecuada para la transmisión cambiando una propiedad o parámetro de una señal (portadora) en forma proporcional a la señal de información; esto es lo que se conoce como proceso de modulación.

El tipo de dependencia de estas señales define el tipo de modulación. En la modulación de amplitud (AM), se hace variar la amplitud de una señal sinusoidal, con frecuencia y fase fijas, en proporción a una señal dada (mensaje). La modulación de amplitud (AM) es el proceso por el cual se varía la amplitud de una señal portadora sinusoidal de alta frecuencia de acuerdo con la forma de onda de la señal modulante (información o mensaje).

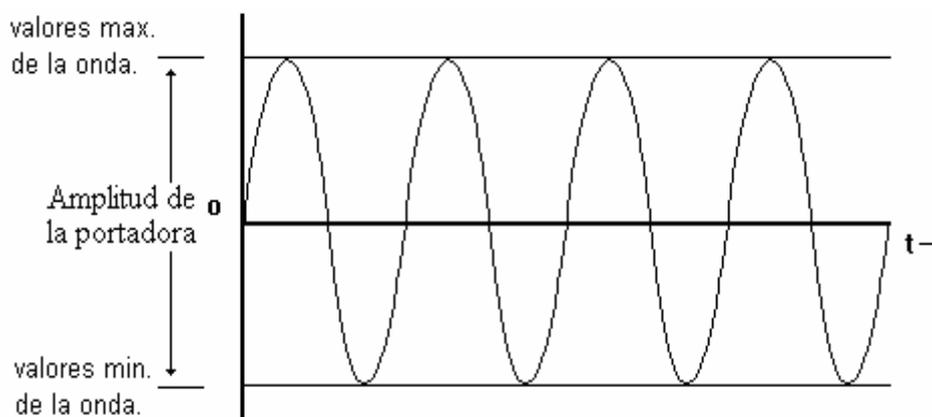


Figura I.2. Representación de la onda portadora

Como su nombre indica en esta modulación lo que se va a modular va a ser la amplitud de la portadora ($c(t)$) en función de la moduladora ($m(t)$), es decir, el valor de la señal



portadora será el que portará la información. La expresión analítica general de la señal AM es la siguiente:

$$u(t) = A_c \cdot m(t) \cdot c(t) = A_c \cdot (1 + a \cdot m(t)) \cdot \cos(\omega_c \cdot t + b)$$

Donde:

A_c : Es la ganancia que aplica el amplificador del modulador/transmisor.

a : Índice de modulación.

ω_c : Frecuencia de la portadora $c(t)$ en rad/s ($\omega_c = 2 \cdot \pi \cdot f_c$ donde f = frecuencia de la portadora en hertzios). La c es un subíndice.

b : Desfase inicial.

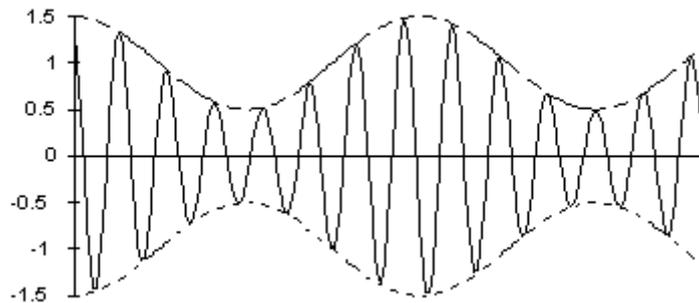
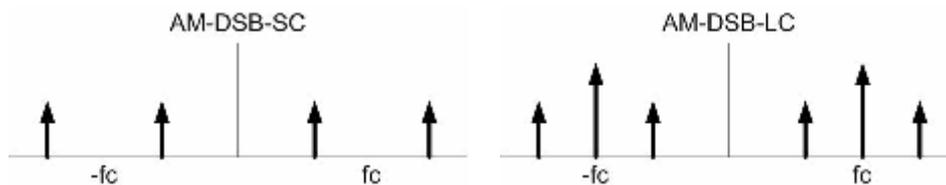


Figura I.3. Onda modulada en amplitud.

Optimización de la potencia:

Como consecuencia de todo lo anterior vamos a obtener que en el mejor de los casos (porcentaje de modulación del 100%) la onda portadora consume el 50% de la potencia y cada banda lateral un 25%. Esto se resuelve filtrando la onda modulada antes de emitirla, con lo que nos situamos en uno de los siguientes sistemas:

- Modulación en doble banda lateral (DSB): Se suprime la frecuencia central (portadora).

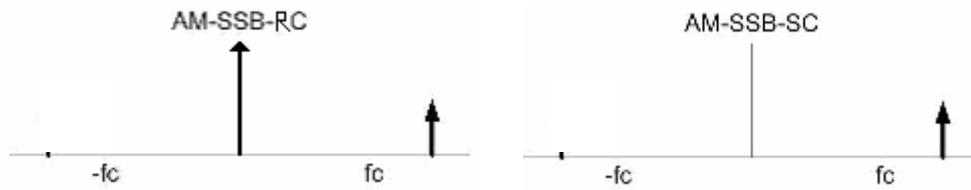


Doble banda lateral sin portadora

Doble banda lateral con portadora

Figura I.4.

- Modulación en banda lateral única (BLU o SSB): Suprime la portadora y una de las bandas laterales.



Banda lateral única superior con portadora

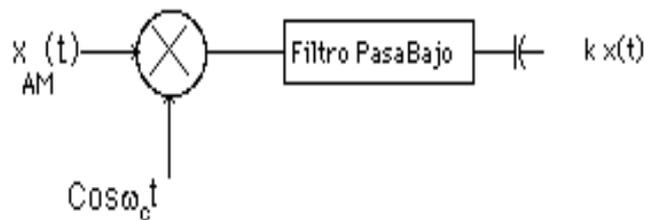
Banda lateral única superior sin

Figura 1.5.

Empleando uno de los sistemas anteriores obtendremos un mayor aprovechamiento de la potencia y ocuparemos un menor ancho de banda.

Demodulación o detección de AM.

Proceso usado para recuperar la señal de información, a partir de cualquier tipo de señal AM modulada. Hay 2 tipos de detección:



- **Demodulación síncrona o coherente** requiere en el receptor una portadora de frecuencia y fase totalmente sincronizada con la portadora del transmisor.

Al multiplicar la señal modulada por la portadora se tendrá:

$$x_{AM}(t) \cos \omega_c t = A_c \cos^2 \omega_c t + A_c m x(t) \cos^2 \omega_c t = 0.5 A_c (1 + m x(t)) (1 + \cos 2 \omega_c t)$$

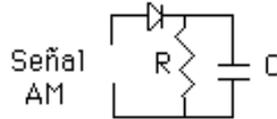
Al filtrar y quitar la DC sólo quedará $0.5 A_c m x(t)$. Observe que se asume que el receptor tiene una muestra de la portadora de la misma frecuencia y fase que la usada en el modulador. El efecto que tendría un error de fase o frecuencia en el oscilador del demodulador será analizado posteriormente.

Este tipo de detección es complejo y costoso por lo que sólo se usa en la demodulación de señales AM sin portadora presente.



- **Demodulación por detección de envolvente o no coherente** no requiere en el receptor una portadora sincronizada con el transmisor.

Basta un dispositivo simple que detecte la envolvente de la señal modulada AM. Sólo se usa en señales AM con portadora presente.



Cuando se aplica una señal a la entrada, el capacitor se carga a través de R; por lo tanto el producto RC debe ser mucho menor que el inverso del ancho de banda del mensaje.

Cuando la tensión baja, el diodo se abre y el capacitor comienza a descargarse; por lo tanto el producto RC debe ser mucho mayor que el inverso de ω_c . La salida de este circuito es el mensaje sobre una DC que puede bloquearse con un condensador, aunque esto empobrece la respuesta a bajas frecuencias.

La sencillez de este demodulador permite aplicaciones masivas, tal como radiodifusión comercial.

1.2.1.2. MODULACIÓN EN FRECUENCIA (FM).

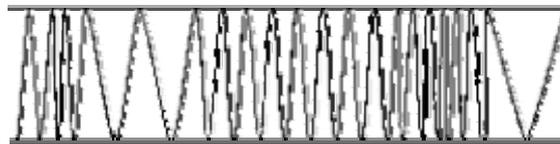
La modulación en Frecuencia es la técnica de transmisión por radio más popular actualmente. La FM es tan popular porque es capaz de transmitir más información del sonido que queremos transmitir, ya que en AM si se transmiten sonidos que están a frecuencias muy altas se consume un gran ancho de banda.

La modulación en frecuencia se basa en variar la frecuencia de la portadora con arreglo a la amplitud de la moduladora.

La frecuencia instantánea $f_i(t)$ viene dada por la función en el tiempo:

$$f_i(t) = f_c + K_f m(t)$$

Donde K_f es una constante de modulación que determina la desviación máxima de la frecuencia respecto a la portadora f_c y $m(t)$ es la señal moduladora.



Si se tiene una señal moduladora cuya máxima amplitud es de 1V (valor de pico) y una onda portadora de 1000 KHz y para este valor de amplitud la frecuencia de la portadora se desvía 15 KHz (simétricamente, es decir +15 KHz y -15 KHz), conforme oscile la señal moduladora la frecuencia de la portadora oscilará entre 985 KHz y 1015 KHz, ocupando un ancho de banda de 30 KHz.

En este sistema de modulación también tenemos un problema práctico, y que es poco común el ancho de banda de la transmisión es inferior a diez veces el de la señal moduladora.



Bandas de frecuencia:

Internacionalmente se han dividido todo el espectro de frecuencia en las denominadas bandas de frecuencia. Esto se hace así para poder delimitar el acceso de los usuarios a estas bandas.

Hay que mencionar que esta clasificación no es global y que algunos países difieren en su delimitación, pero en general podemos aceptarlas como generales.

Denominación	Siglas	Margen de frecuencias
Frecuencias muy bajas	VLF	3 - 30 KHz
Frecuencias bajas	LF	30 - 300 KHz
Frecuencias medias	MF	300 - 3000 KHz
Frecuencias altas	HF	3 - 30 MHz
Frecuencias muy altas	VHF	30 - 300 MHz
Frecuencias ultra altas	UHF	300 - 3000 MHz
Frecuencias súper altas	SHF	3 - 30 GHz
Frecuencias extra altas	EHF	30 - 300 GHz

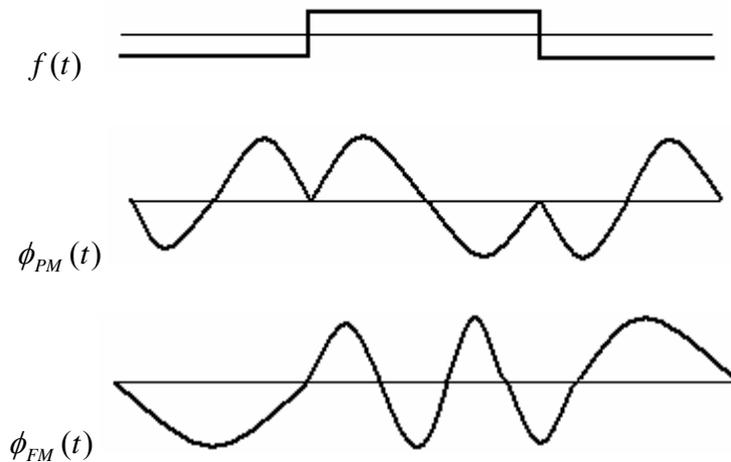
Las bandas de frecuencia más baja se reservan para las emisoras que transmiten en AM, mientras que las de FM transmiten sobre los 100 MHz. La única banda que está libre para cualquier uso (como radió control) y para cualquier persona es la banda de los 27 MHz, pero debido a esto está bastante saturada y sólo es conveniente utilizarla para practicar con montajes caseros y sistemas de poco alcance (no más de 100m).



I.2.1.3. MODULACIÓN DE FASE (PM).

La modulación de fase (PM) se basa en el cambio del desfase de la portadora en cada instante. El modulador modifica el desfase inicial de la señal. Así, la onda sufre discontinuidades en la fase que se corresponden con saltos en la función moduladora en el caso de la señal binaria, o cambios progresivos, como es el caso de las ondas sinusoidales.

La figura I.6. Muestra un ejemplo de una señal modulada en PM, y se comparan con la modulación FM, con la que esta muy relacionada.



I.6. Modulación Fase (PM), comparada con FM

I.2.2. MODULACIÓN DIGITAL.

Para los sistemas digitales de comunicación que emplean señales de pasa banda resulta ventajoso modular una señal portadora con la corriente digital de datos, antes de la transmisión. Las tres formas básicas de la modulación digital son la AM, FM y PM se conocen como conmutación en corriente en amplitud ASK (Amplitude Shift Keying), conmutación de corriente de frecuencia FSK (Frequency Shift Keying) y conmutación de corriente de fase PSK (Phase Shift Keying) respectivamente.

I.2.2.1. ASK (AMPLITUDE SHIFT KEYING).

La amplitud de una señal portadora de alta frecuencia se altera entre dos o más valores en respuesta al código PCM. Para el caso binario las elecciones habituales en el conmutador encendido apagado, la onda en amplitud modulada consiste en pulsar RF, llamados marcas, que representan el valor binario de 1 y espacio que representa el valor binario de 0, es decir, en esta técnica de modulación la amplitud de la señal contiene la información.

En la figura I.7, se muestra una onda ASK para un código PCM dado, así como en la AM, el ancho de banda básico se duplica en el ASK.

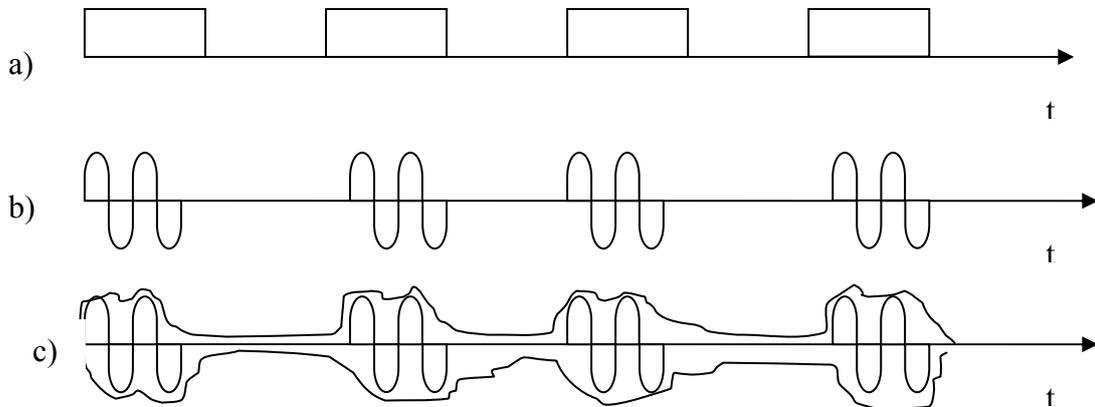


Figura I.7.

- Código PCM.
- Onda ASK de banda limitada.
- Onda real ASK.

La representación matemática es la siguiente:

$$\theta_{(t)} = A \text{ sen } (W_{ct}) \quad 0 < t < T$$

0 en cualquier otro caso

I.2.2.2. FSK (FREQUENCY SHIFT KEYING).

Consiste en variar la frecuencia de la señal portadora en función de la señal de entrada. En este tipo de modulación la frecuencia instantánea de la señal se alterna entre dos o más valores en respuesta de código PCM. Por tal motivo, la onda FSK puede considerarse compuesta por dos ondas ASK de diferentes frecuencias portadoras.

Así la frecuencia de la señal es usada como la información portadora. El “0” esta representado por cierta frecuencia, y el “1” esta representado por diferente frecuencia.

En la figura I.8. (a), se muestra una onda FSK idealizada correspondiente al código PCM, la figura I.8.(b) su descomposición en dos ondas ASK:

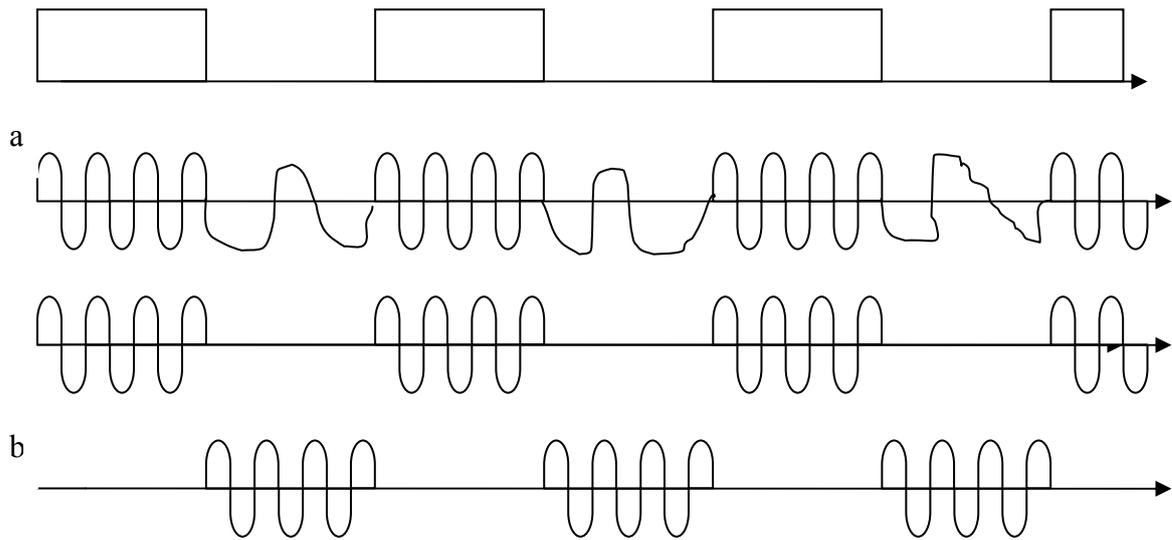


Figura I.8.

La representación matemática es la siguiente:

$$\theta_{(t)} = A \text{ sen } (mw_{ct}) \quad 0 < t < T$$

0 en cualquier otro caso

$$\theta_{(t)} = A \text{ sen } (nw_{ct}) \quad 0 < t < T$$

0 en cualquier otro caso

Donde $n \neq m$ son un factor de las frecuencias.

1.2.2.3. PSK (PHASE SHIFT KEYING).

En este caso se provocan cambios bruscos en la fase de la señal portadora según sea el nivel de la señal de entrada. Así la fase de la señal se alterna entre dos o más valores en respuesta al código PCM. Para PCM binario es conveniente un desfase de 180° para que simplifique el diseño del demodulador y por eso es muy utilizado. Este método en particular se conoce comúnmente como conmutador inverso de fase (PRK) para esta técnica de modulación, la información está contenida en la fase izquierda de la señal a una señal de referencia.

En un sistema PSK una referencia de fase será necesitada en el receptor para interpretar la información. Un “1” lógico es interpretado como fase izquierda de 0° con respecto a la señal de referencia. Un “0” lógico es codificado como una fase izquierda de 180° con respecto a la señal de referencia.



La onda PSK puede representarse de la siguiente forma:

$$\begin{aligned}\Delta_1(t) &= A \text{ sen } (w_c t) \\ \Delta_2(t) &= -A \text{ sen } (w_c t)\end{aligned}$$

Donde $F_2(t) = -F_1(t)$

En la figura I.9, se muestra una onda de señal PSK:

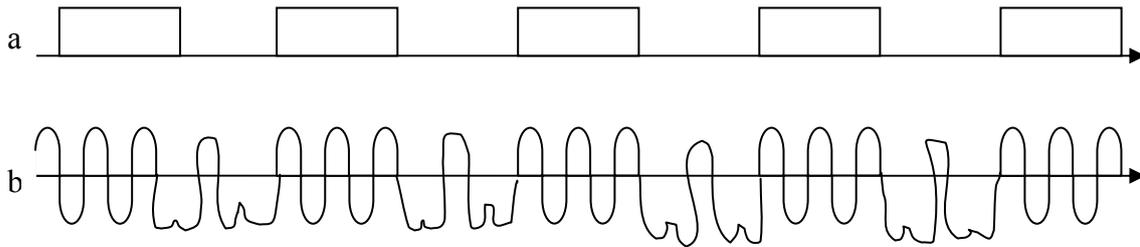


Figura I.9.

- a) Código PCM.
- b) Onda PSK.

Ninguno de los métodos de modulación digital es particularmente eficiente en términos de ancho de banda empleado. Tales sistemas tienen una eficiencia teórica de 1 bps/Hz.

1.2.2.4 MODULACIÓN QAM, MSK Y QPSK.

Estas técnicas de modulación poseen la característica de conservar el ancho de banda para la transmisión de datos binarios, y son referidos como sistemas de “Multiplexación de portadora en cuadratura”.

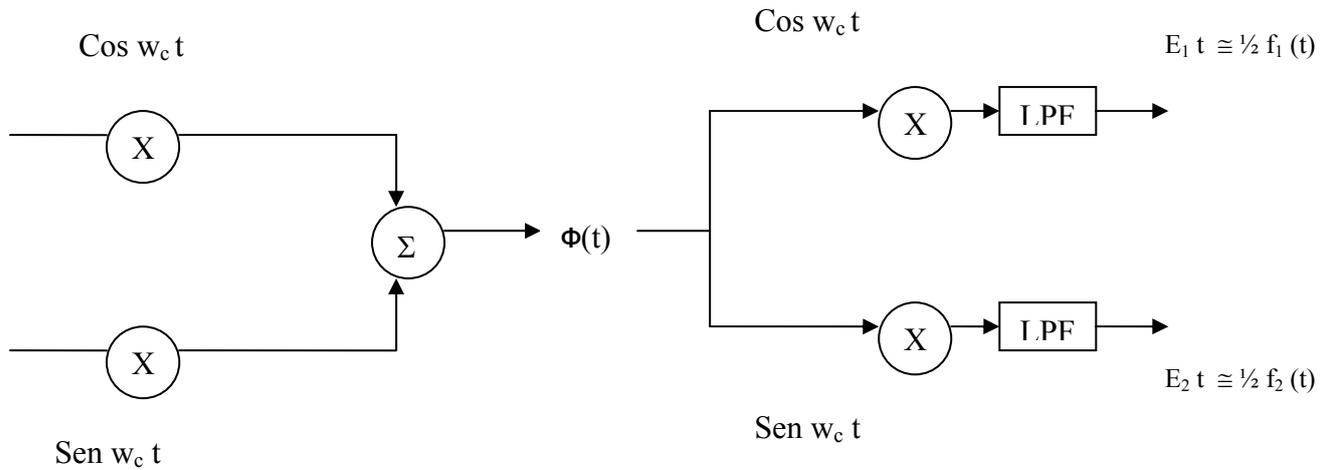
Estos sistemas aprovechan la ortogonalidad de los senos y cosenos, es posible transmitir y recibir dos señales diferentes simultáneamente en la misma frecuencia portadora, estos sistemas producen una onda modulada descrita por:

$$s(t) = s_1(t) \cos(2\pi f_c t) - s_Q(t) \text{sen}(2\pi f_c t)$$

Donde $s_1(t)$ es la componente en fase de la onda modulada, y $s_Q(t)$ es la componente en cuadratura.



En la siguiente figura se muestra el diagrama a bloques del sistema de multiplexación en cuadratura:



Si en el filtro pasa bajos, todos los términos en $2w_c$ se atenúan resulta:

$$e_1(t) = 1/2 f_1(t)$$

$$e_2(t) = 1/2 f_2(t)$$

Por lo que la multiplexación de cuadratura resulta un método eficaz para transmitir dos señales de información dentro del mismo ancho de banda. Esto requiere de una sincronización precisa de fase del transmisor y el receptor.

En la figura I.10, se muestra un sistema básico modulador llamado AM de cuadratura QAM:

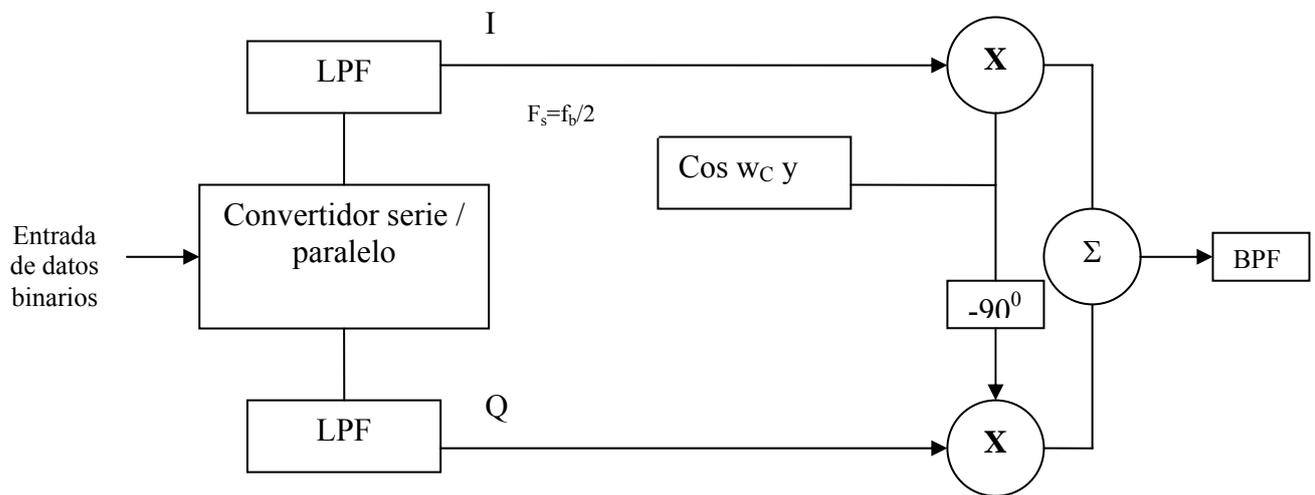


Figura I.10.

En la figura I.10, se muestra que el convertidor serie – paralelo recibe la corriente de datos a razón de $f_b = 2T_b$ bps y entran dos corrientes paralelas a $f_s = 1/t_s$ bps, siendo $t_s = 2T_b$.

Donde f_s es la razón de símbolos o razón de baúl y f_b la razón de bits del sistema.



La señal I usa la referencia de portadora en fase y la señal Q con la referencia portadora en cuadratura. Las señales I y Q se suman para formar la señal QAM resultante.

Como $f_s = f_b/2$, la eficiencia del ancho de banda de la QAM es de 2 bps/Hz.

El sistema PSK de cuadratura se presenta cuando las señales I y Q tienen la misma magnitud, como se ilustra en la figura I.11:

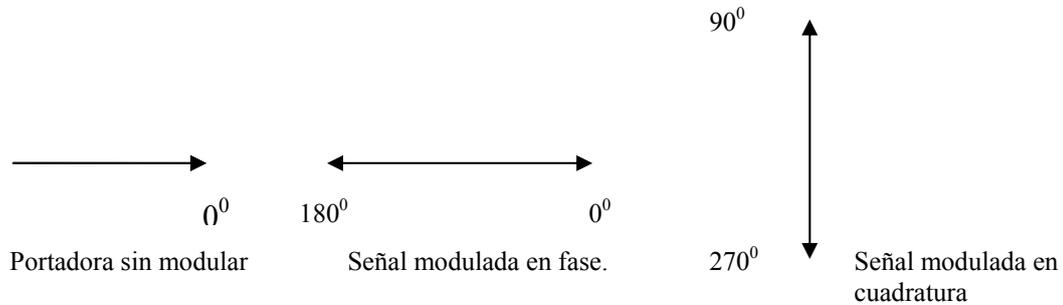


Figura I.11.

El sistema MSK es un sistema binario FSK, la información contenida en la fase de la señal de recepción no es completamente explotada. Cuando se utiliza adecuadamente la fase en el proceso de detección, es posible mejorar significativamente la relación de ruido en el receptor, pero esto hace más complejo al receptor.

1.2.3 MODULACIÓN POR CODIFICACIÓN DE PULSOS.

A diferencia de la modulación de onda continua, en la modulación por pulsos las señales portadoras son de tipo digital. En estas, la portadora no es analógica, si no un tren de pulsos.

La modulación por codificación de pulsos (PCM) es un método para convertir las señales analógicas a señales digitales que adquieren formato compatible con la transmisión digital.

Para convertir una señal analógica a digital tiene que pasar por cuatro etapas las cuales son:

- Conversión de las señales eléctricas analógicas en pulsos digitales.
- Codificación de estos pulsos en una secuencia apropiada para la transmisión.
- Transmisión sobre el medio digital.
- Conversión de nuevo a la forma analógica (o aproximación a ella) en el receptor.



I.2.3.1 MUESTREO.

Las señales de voz o cualquier otra señal analógica se convierten en una secuencia de dígitos binarios mediante el muestreo de la forma de onda de la señal a intervalos regulares.

En cada instante de muestreo se determina una amplitud de la forma de onda y, de acuerdo con la magnitud, se le asigna un valor numérico, que entonces se codifica en forma binaria y se transmite sobre el medio de transporte. En el extremo receptor la señal original se reconstruye mediante la conversión de nuevo a la forma analógica de la señal digitalizada que se recibe.

Una señal se puede recuperar sólo si se han tomado un mínimo de muestras por unidad de tiempo, es decir existe una mínima frecuencia de muestreo, que permite recuperar el mensaje a partir del formato de modulación por pulsos sin perder información.

El criterio que se ha de seguir para la elección de esta frecuencia de muestreo es el dado por el Teorema de Nyquist, dice que muestreando con una frecuencia superior, al menos el doble de la máxima componente de frecuencia de la señal, no se pierde nada de información.

$$f_s \geq 2 \cdot f_{\max}$$

Por ejemplo, para un canal telefónico, esto equivale a $2 \times 4 \text{ KHz.} = 8000$ muestras por segundo, el ancho de banda normal de un canal telefónico es de 4 KHz.

I.2.3.2 CUANTIFICACIÓN.

Sin embargo, tras el muestreo de la señal, esta puede tomar infinitos valores distintos, y por tanto, no es una señal digital. A pesar de la discretización de la variable de tiempo, cada una de las muestras de tiempo resultantes puede tomar cualquier valor. Entre los valores de la señal se requiere de un proceso parecido al muestreo, llamado cuantificación.

Para ello, se ha de limitar el rango de posibles valores a lo que se llama margen dinámico, determinado por dos cotas aceptables como valores máximo y mínimo que tome la señal.

Este margen dinámico en el que puede variar la señal, será el que cuantifique. Este proceso consiste en elegir un conjunto de posibles valores, llamados niveles de cuantificación, y aproximar cada una de las muestras a uno de dichos niveles. Cuanto mayor sea el número de cuantificación dentro del margen dinámico, mejor fidelidad de la señal digitalizada se tendrá.

A mayor número de niveles de cuantificación, menor error medio se tendrá en la señal cuantificada, por lo que la señal digital será más fiel a la señal analógica original.



1.2.3.3 CODIFICACIÓN.

La codificación es una técnica de procesado orientado a símbolos. La codificación consiste en la transformación de un mensaje discretizado en una nueva secuencia de símbolos dispuesta a ser transmitida. Mediante la descodificación en el receptor, dicha secuencia se reconvierte en el mensaje original, salvando los posibles errores debidos a las perturbaciones introducidas por el canal.

1.2.3.4 MULTIPLEXACIÓN.

La limitación del espectro radioeléctrico y la cantidad de información que debe de ser transmitida exigen un estricto reparto del mismo, ubicando cada servicio en la banda apropiada, y procurando que la probabilidad de existencia de interferencias mutuas sea mínima.

Una ventaja del uso de modulación es la asignación de frecuencias a distintos usuarios de un medio de transmisión.

De este modo, un medio punto a punto podrá ser compartido por varios usuarios al mismo tiempo utilizando técnicas de multiplexación muy diversas. Si se utilizan distintas portadoras de onda continua, se trata de multiplexión por división de frecuencia (FDM). Si, por el contrario, lo que se usa es una modulación mediante trenes de pulsos, retardados entre si de forma que no exista solapamiento temporal, se habla de una multiplexación por división de tiempo (TDM).



Capítulo II:

HISTORIA DE LA TELEFONÍA CELULAR



II. HISTORIA DE LA TELEFONÍA CELULAR

II.1. ANTECEDENTES.

El primer sistema telefónico móvil fue diseñado por AT&T, el 17 de junio de 1946 en San Luis, Missouri. Este sistema operaba con 6 canales con una frecuencia de 150 MHz y un espacio entre canales de 60 KHz, se utilizó este sistema para interconectar usuarios móviles, que por lo general eran autos, con la red telefónica pública, lo que permitía llamadas entre los usuarios y las estaciones fijas.

Al año siguiente, el sistema telefónico móvil se introdujo en más de 25 ciudades de los Estados Unidos con aproximadamente un total de 44 000 usuarios. Estos sistemas usaban un transmisor de frecuencia modulada (FM) y la mayoría utilizaba un transmisor muy poderoso para proveer una cobertura de 80 Km desde la base. Más adelante los canales telefónicos evolucionaron, permitiendo transmitir la voz con un ancho de banda de 3 KHz.

En 1949, la comisión federal de comunicaciones (CFC) dispuso de más canales, de los cuales la mitad los cedió a la compañía *Bell System* y la otra mitad a compañías independientes como la RCC (Radio Común Carries), esto con la intención de crear competencia y evitar el monopolio. A mediados de los 50' se creó el primer sistema para viajar en autos de menor tamaño, esto sucedió en Estocolmo, en las oficinas centrales de *ERICSSON*. Pero sólo 10 años después fue cuando los transistores se redujeron en peso, tamaño y potencia para poder introducirlos al mercado.

En 1956, la compañía *Bell System* empezó a dar servicio en los 450 MHz, esto para tener una mayor capacidad. En 1958, la *Richmond Radiotelephone Co*, mejoró el sistema de mercado, pudiendo conectar rápidamente las llamadas de móvil a móvil. A mediados de los 60' *Bell System* introdujo el servicio móvil mejorado (IMTS) con características mejoradas; estas mejoras incluían, un buen diseño del transmisor y del receptor permitiendo una reducción del ancho de banda del canal de FM de 25 – 30 MHz.

A finales de los 60' y principios de los 70' el trabajo comenzó con los primeros sistemas de telefonía celular, las frecuencias no se reutilizaban en los celulares adyacentes, esto con el fin de evitar interferencias entre los primeros sistemas celulares.

En enero de 1969, la compañía *Bell System* aplicó por primera vez el rehúso de frecuencias en un sistema comercial para teléfonos públicos de la línea del tren de NY a Washington D. C., para poder desarrollar este sistema se tuvieron que utilizar 6 canales en la banda de 450 MHz en 9 zonas a lo largo de la ruta de 380 km a lo cual se le conoció como radio celular.



II.2. RADIO CELULAR.

Este sistema corrigió mucho de los sistemas telefónicos móviles. Los principios claves del radio celular fueron descubiertos por los inventores, en los laboratorios *Bell*, en 1947. Fue determinado que subdividiendo un área geográfica relativamente grande en secciones más pequeñas llamadas celdas o células se podía hacer rehúso de frecuencias para incrementar la capacidad de un canal de telefonía móvil. El rehúso de frecuencias es cuando el mismo conjunto de frecuencias o canales se puede asignar a más de una célula o celda siempre y cuando estén a una cierta distancia de separación.

II.2.1. Distribución de la Frecuencia.

En 1980, la FCC decidió darle una licencia a dos portadoras comunes para red de servicio, el objetivo era eliminar la posibilidad de un monopolio y mejorar la competencia; subsecuentemente surgieron dos sistemas de distribución de frecuencias, cada uno con su grupo de canales, los cuales se llamaron sistema A y sistema B, para compartir el espectro de frecuencias, el sistema A se definió para las empresas inalámbricas y el sistema B para las empresas alámbricas.

En 1978, en EE.UU. comenzó a operar el servicio telefónico móvil Avanzado o Advanced Mobile Phone Service (AMPS), en este año las células cubrían 355 000 km² en el área de Chicago, operando en 9 frecuencias de la banda de 8000 MHz, esta red utilizaba circuitos integrados LS, una computadora dedicada y un sistema de conmutación, lo que dio como resultado que los sistemas celulares podían funcionar.

El desarrollo de AMPS fue muy rápido, en mayo de 1978 llegó a Arabia Saudita y comenzó a operar, un año más tarde llegaría a Tokio y en 1981 llegó a nuestro país.

AT&T desarrollo junto con Motorola un modelo llamado *Dynatacs* o *TACS* que significa Total Access Communications System el cual se implemento en Baltimore y Washington D. C. por la compañía celular ONE el 16 de diciembre de 1983.

En febrero de 1983 surgió otro estándar llamado Aurora – 400, este surgió en Canadá utilizando el equipo de GTE y Novantel éste sistema llamado descentralizado opera en la banda de frecuencia de los 420 MHz y utiliza 86 celdas; este sistema tenía su principal aplicación en el área rural por su poca capacidad y amplia cobertura. En Europa el sistema celular nórdico NMT450 inicio operaciones en Dinamarca, Suecia, Finlandia y Noruega en el rango de 450 MHz. En 1985 Inglaterra empezó a utilizar TACS en la banda de los 900 MHz, más tarde Alemania Occidental implemento C-NETZ, los Franceses Radiocom 2000 y los Italianos utilizaron RTMI/RTMS. Debido a que estos países utilizaban sistemas diferentes (9 sistemas), provocó incompatibilidad entre ellos a diferencia de los Estados Unidos que no sufrían este problema, lo cual dio inicio a un sistema digital único en Europa.

A finales de los 80' los sistemas celulares digitales, crecieron enormemente debido a que la transmisión de voz era de forma digital. El uso de tecnología digital en la reproducción de discos compactos popularizo la calidad del audio digital, esto se debió



a la eliminación del ruido y el habla más clara, fueran más atractivos para los ingenieros y usuarios comunes.

En 1990, en Estados Unidos se agregó una nueva característica, el tráfico de la voz se convirtió en digital este triplicó la capacidad con el muestreo, digitalización y multicanalización de las conversaciones. Para 1991, el servicio digital celular creció debido a que se redujo el costo de las comunicaciones inalámbricas y mejoró la capacidad de llamadas de los sistemas celulares analógicos.

En 1989, surge GSM, primero llamado como Grupo Espacial Móvil y luego como Sistema Global para Comunicación Móviles. Su principal característica es que unifica los sistemas europeos. Desde 1993 los sistemas en los Estados Unidos tenían una demanda enorme, estos crecieron de 500 mil en 1984 a 13 millones en 1993. En 1994 Qualcomm, Inc propuso la técnica Code División Múltiple Access (CDMA) o Acceso Múltiple por División de Código, donde todos estos elementos serían digitales, además de que prometía un aumento de 10 a 20 veces mayor en la capacidad.

II.3. SITUACIÓN EN MÉXICO DE LOS SISTEMAS CELULARES.

En México, hasta 1984 Telcel obtuvo la concesión para explotar la red de servicio radio telefónico móvil en el área metropolitana de la ciudad de México, bajo la denominación de “Radiomovil Dipsa S. A. de C. V.”, operando en las bandas radiofónicas de 450-470 MHz y 470-512 MHz. La Secretaría de Comunicaciones y Transportes introdujo la telefonía celular en nuestro país en las 9 regiones en que fue dividido. La primera compañía que nace fue Iusacell, para ofrecer el servicio en la ciudad de México y en ese mismo año surge Telcel ofreciendo sus servicios de telefonía celular en la ciudad de Tijuana. A partir de 1990 Iusacell y Telcel expanden sus servicios de telefonía móvil a lo largo del D. F. y la zona metropolitana y posteriormente a lo largo del país.

El 31 de mayo de 1989 se presentó “El plan Nacional de Desarrollo 1989-1994” donde se menciona la importancia de las telecomunicaciones destacando los siguientes puntos:

- Múltiples empresas podían desarrollar los servicios de transmisión conmutada de datos, teleinformática, telefonía celular y otros.
- Las concesiones para telefonía celular se someterán a concurso de manera permanente, y así se garantizaran la mejor oferta de servicios y concentración económica del estado.



Capítulo III:

TELEFONÍA MÓVIL DIGITAL



III. TELEFONÍA MÓVIL DIGITAL

III.1. SISTEMAS DE RADIO DE TELEFONÍA MÓVIL.

Los sistemas de radio telefonía móviles (SRTM) permiten el intercambio de información entre terminales móviles y terminales fijas a través de un medio de transmisión radioeléctrico, estos sistemas suelen tener una cobertura zonal.

Hay muchas clases de sistemas de radiocomunicaciones en dos sentidos, que ofrecen gran variedad de servicios como los siguientes:

- *Radio móvil en dos sentidos.* Comunicación semidúplex en dos sentidos, de uno con muchos, sin tono de marcar.
 - Radio Civil (CB) de clase D: Proporciona de 26.96 a 27.41 MHz (40 canales compartidos de 10 KHz).
 - Radio Aficionado: Cubre una banda ancha de frecuencia, de 1.8 MHz hasta más de 300 MHz diseñado para uso personal, sin interés monetario.
 - Servicio de Radiofusión Aeronáutica: Proporciona de 2.8 a 457 MHz. El ABS diseña información para navegación aérea y comunicaciones de tierra aire, usando la AM convencional y diversas formas de SSB AM en las bandas de frecuencias HF, MF y VHF.

- *Servicio de telefonía móvil.* Comunicaciones radiotelefónicas duplex, de uno a uno.
 - Radio Celular Analógico: Transmisión en FM usando FDMA o TDMA.
 - Radio Celular Digital: Sistema digital personal, transmisión PSK de señales de voz codificadas por PCM, usando TDMA, FDMA y CDMA.
 - Sistemas Satelitales de Comunicaciones Digitales: Proporcionan servicio mundial de telecomunicaciones con teléfonos manuales que se comunican entre sí a través de repetidoras de satélites en órbita terrestre, con modulación QPSK y tanto FDMA como TDMA.



III.2. CONCEPTOS BÁSICOS DEL TELÉFONO CELULAR.

En los sistemas de telefonía celular móvil, la zona de cobertura se divide en zonas más pequeñas llamadas células, a las que se le asignan cierto número de frecuencias y se les dota de una estación base por célula. En el concepto celular, cada área se sigue subdividiendo en células de forma hexagonal que encajan entre si, formando una estructura de panal, como en la figura III.1:

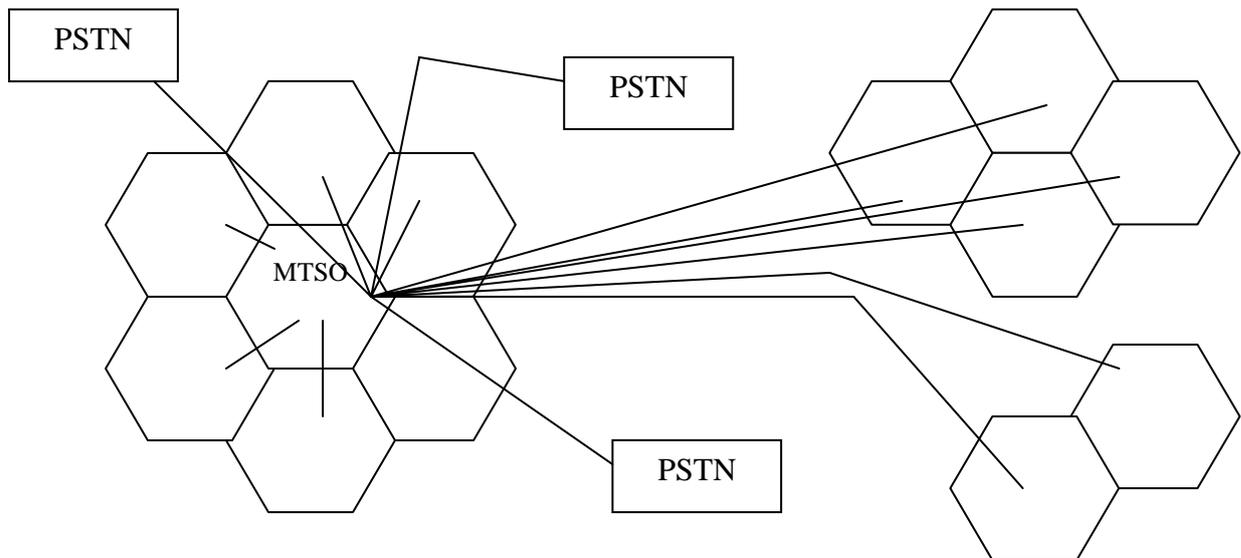


Figura III.1

Se escogió la forma hexagonal porque proporciona la transmisión más eficiente, al aproximarse a la forma circular y al mismo tiempo eliminar los huecos inherentes a los círculos adyacentes. Una célula se define por su tamaño geográfico y lo más importante no está definida en forma precisa por la FCC, y se deja que el proveedor la defina según las pautas previstas de tráfico. A cada área geográfica se le asigna una cantidad fija de canales celulares de voz. El tamaño físico de una célula varía, dependiendo de la densidad del usuario.

Las microcélulas son las que se usan con más frecuencia en las ciudades donde se pueden ver en las calles y en el interior de edificios. En virtud de su corto radio efectivo como reflexiones o demoras de señal.



III.2.1. REUTILIZACIÓN DE LA FRECUENCIA.

Es el proceso en el cual se puede asignar el mismo conjunto de frecuencias (canales) a más de una célula, siempre y cuando las células estén alejadas por cierta distancia.

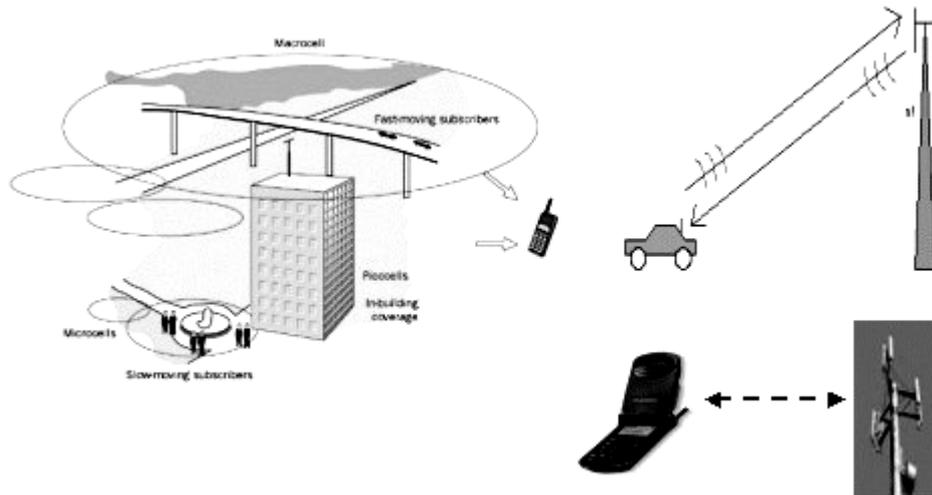


Figura III.2

En la figura III.3, se ilustra el concepto de reasignación de frecuencias. Las células con la misma letra, se muestran los transmisores de estación base en el centro de la célula o en 3 de los 6 vértices de la célula. En las células excitadas en el centro se usa normalmente antenas omnidireccionales, y en células excitadas en el borde se usan antenas direccionales sectorizadas.

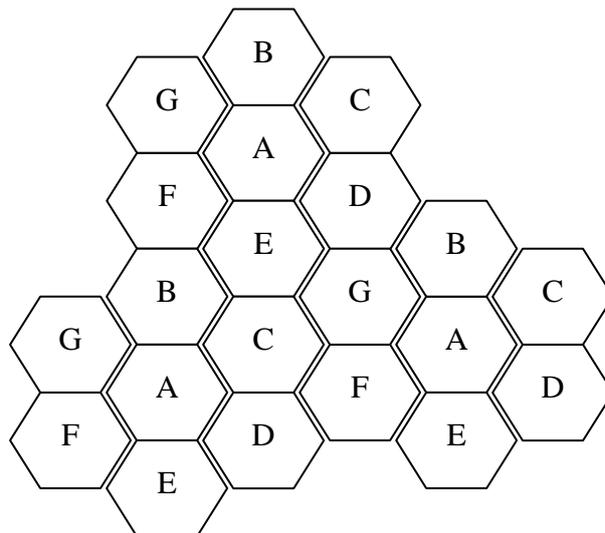


Figura III.3



El concepto de reutilización de frecuencias se puede ilustrar matemáticamente, considerando un sistema con cierta cantidad de canales duplex disponibles. A cada área se le asigna un grupo de canales, que se dividen entre N células en agrupamiento único y ajeno, en radio disponible se puede expresar como:

$$F = GN$$

Donde N = cantidad de células en el grupo.

G = cantidad de canales en una célula.

F = cantidad de canales duplex disponibles en grupo.

$G < F$

Las células que utilizan el mismo conjunto de frecuencias disponibles del canal, en forma colectiva, se llama grupo. Cuando se produce un grupo m veces dentro de un mismo sistema, la cantidad total de canales duplex se puede determinar como sigue:

$$C = mGN$$

Donde C = Capacidad del canales.

m = Cantidad de unidades de asignación.

La capacidad de canales de un sistema telefónico celular es directamente proporcional a la cantidad de veces que se duplica o reproduce en un grupo de determinada área.

El factor de reutilización de frecuencias de un sistema telefónico celular es inversamente proporcional a la cantidad de células en un grupo, es decir, a $1/N$ -enésima parte de los canales totales disponibles en el grupo.

En las células se usa la forma hexagonal, que tiene exactamente 6 células equidistantes vecinas, y las líneas que unen a los centros de cualquier célula con los de sus vecinas forman ángulos de múltiplos de 60^0 . Por lo anterior, es posible tener una cantidad ilimitada de tamaños de grupos y de distribución de células. Para unir células sin huecos entre ellas, la geografía de un hexágono es tal que la cantidad de células por grupo sólo puede tener valores que satisfagan a la siguiente ecuación:

$$N = i^2 + ij + j^2$$

Donde N = Cantidad de células por grupo.

i y j = Valor enteros o negativos.

El proceso de determinar la fila con células de canal compartido más cercana es el siguiente:

- Recorrer i células sucesivas por su centro.
- Dar vuelta 60^0 en dirección contraria a las manecillas del reloj.
- Recorrer j células hacia delante, pasando por el centro de células sucesivas.



En la figura III.4, se muestra un ejemplo de 6 células más cercanas de canal compartido para célula A.

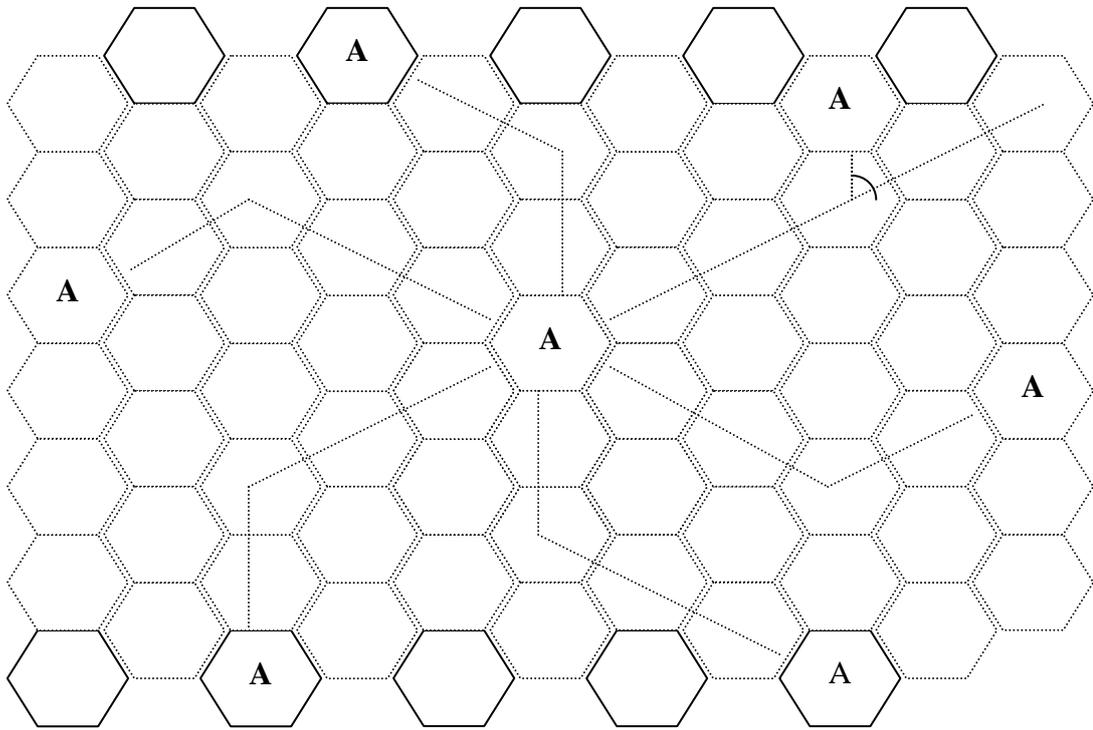


Figura III.4.

III.2.2. INTERFERENCIA.

Las dos clases de interferencias en los sistemas de telefonía celular son las siguientes:

- *Interferencia por canal compartido.* Cuando dos células ocupan el mismo conjunto de canal de frecuencias se llama células por canal compartido y a la interferencia entre ellas se la denomina interferencia por canal compartido, esta no se puede reducir sólo con aumentar las potencias de transmisión, porque al aumentar la potencia de transmisión en una célula aumenta la probabilidad de que esa transmisión interfiera con la transmisión de la otra célula. Para reducir la interferencia por canal compartido, se debe separar los canales compartidos una determinada distancia mínima.
- *Interferencia por canal adyacente.* Esta se presenta cuando las transmisiones de canales adyacentes interfieren entre si, es decir, cuando el canal adyacente transmite muy cerca del receptor en una unidad móvil. Es el resultado de filtros imperfectos en los receptores, que permiten la entrada de frecuencias cerca del receptor. Se puede reducir al mínimo si se usa un filtrado preciso, y también haciendo asignaciones cuidadosas de canal. También se reduce teniendo una separación razonable de frecuencias entre los canales de una célula dada.



III.2.3. DIVISIÓN DE CÉLULA.

El objetivo de la división de célula es el aumentar la capacidad de canales y mejorar la disponibilidad y la fiabilidad de una red telefónica celular. Los aumentos de demanda de servicio celular en un área dada consumen con rapidez los canales celulares asignados allí.

La división de células sucede cuando los niveles de tráfico llegan al punto en el que se compromete la disponibilidad de los canales. Si se inicia una nueva llamada en un área donde se están usando todos los canales disponibles, se presenta una condición llamada *bloqueo*. Si sucede mucho el bloqueo quiere decir que hay sobrecarga del sistema. A continuación en la figura III.5, se muestra un ejemplo de división celular:

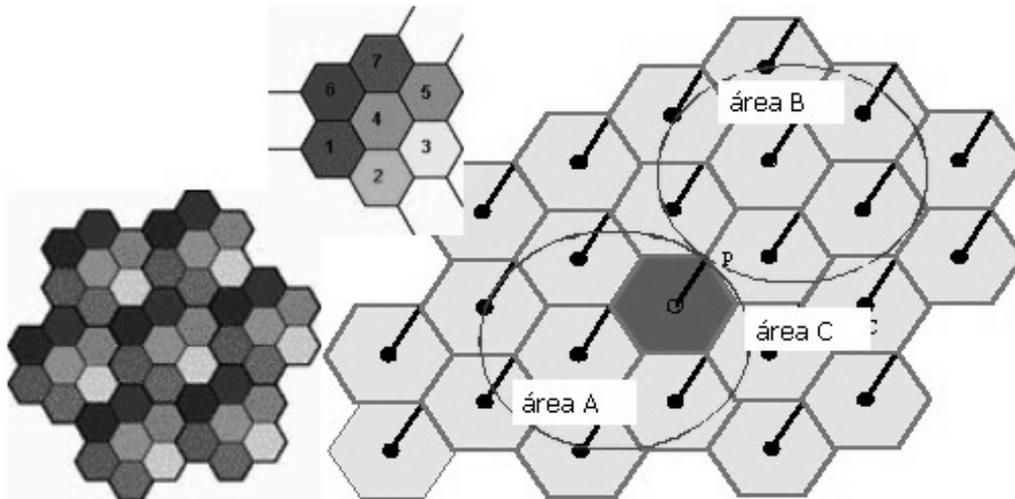


Figura III.5.

III.2.4. SECTORIZACIÓN.

Este es otro método para aumentar la capacidad de los canales, el cual consiste en reducir la relación D/R (Reutilización de canal compartido) manteniendo al mismo tiempo el mismo radio de célula. Se puede mejorar el rendimiento de la capacidad si se reduce la cantidad de células en un grupo, aumentando así la reutilización de frecuencias, esto se logra al reducir la interferencia relativa sin disminuir la potencia de transmisión.

En un sistema telefónico celular se puede reducir la interferencia por canal compartido si se reemplaza una sola antena omnidireccional con varias antenas direccionales, irradiando cada una hacia un área definida. A estas áreas se les conoce como sectores y a la disminución de la interferencia por canal compartido la cuál aumenta al mismo tiempo su capacidad mediante antenas direccionales, se la conoce como sectorización.



La figura III.6, muestra la sectorización a 60° y la sectorización a 120° :

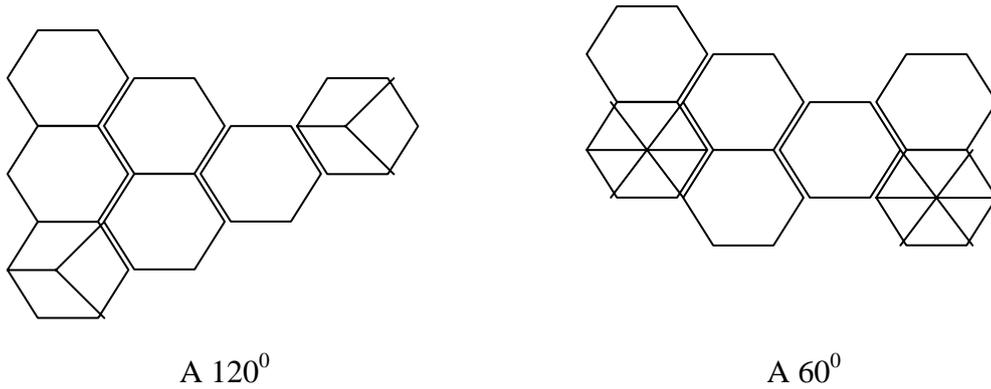


Figura III.6.

III.2.5. SEGMENTACIÓN Y DUALIZACIÓN.

Son técnicas que se utilizan cuando se requieren más células dentro de la distancia de reutilización. En la segmentación se divide un grupo de canales en agrupamientos o segmentos de frecuencias mutuamente excluyentes. La dualización es un método para evitar la división completa de célula, cuando de otro modo se necesita segmentar toda el área en células más pequeñas.

III. 2 .6. CELDAS HEXAGONALES.

Las celdas utilizadas en los sistemas móviles celulares son del tipo hexagonal. Para un radio de cobertura R fijo, el hexágono es el polígono regular que presenta una mayor superficie de célula, más que los cuadrados y los triángulos, por lo que utilizándolos, el número de células necesario para cubrir un territorio sería mínimo. Las celdas circulares no son válidas, ya que sus bordes no se solapan, quedando zonas sin cubrir (zonas de silencio); y si se solapan, se producirían interferencias entre canales.

Es importante aclarar lo siguiente:

- La celda hexagonal es sólo una herramienta de diseño y planificación.
- La cobertura real de una estación base asociada a cada celda queda determinada por las condiciones reales de propagación (relieve del terreno) y las características de potencia y sensibilidad de los extremos terminales del enlace entre la estación base y el móvil.
- Para determinar R se utiliza el método de Okumura-Hata.

En la práctica es posible que un móvil asociado a una determinada celda por consideración del diseño reticular y su posición en un instante determinado, logre mejor cobertura en una celda adyacente.



Razón de protección:

Para que en celdas distintas puedan reutilizarse los mismos canales, es necesario que las celdas estén separadas a una distancia D , denominada distancia de reutilización o distancia co-canal, que garantice un valor mínimo en la razón portadora a interferencia (C/I). Veamos un ejemplo sencillo (ver figura III. 7.).

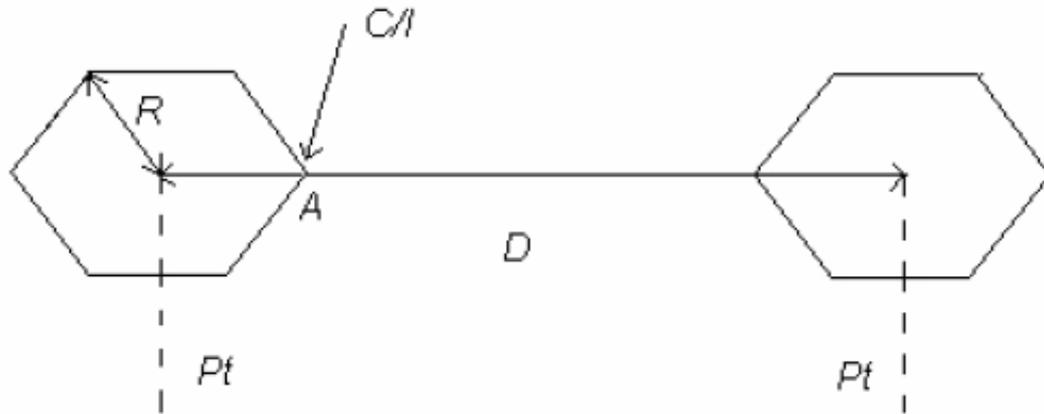


Figura III. 7. Evaluación de C/I en el punto indicado A.

Consideremos que ambas estaciones base emiten la misma potencia radiada P_t y que poseen un patrón de radiación “ n ” omnidireccional en el plano horizontal. Suponiendo que la ley de propagación sigue la expresión $L_b = Kdn$; donde “ L_b ” es la pérdida del trayecto, “ d ” es la distancia entre el transmisor y el receptor, por ultimo “ K ” y “ n ” son parámetros típicos del mecanismo de propagación, entonces la potencia de la portadora (C) y la interferencia (I) producida por la celda co-canal adyacente en el mismo punto A, será:

$$C = \frac{P_t}{KR^n} \quad (1); \quad I = \frac{P_t}{K(D-R)^n} \quad (2)$$

Entonces combinando (1) y (2) y tomando en cuenta que $D \gg R$ se obtiene:

$$(C/I) = \left(\frac{D}{R}\right)^n \quad (3)$$

El valor mínimo de (C/I) para garantizar la calidad adecuada se denomina razón de protección (R_p) y depende no solamente de “ D ” sino también del tamaño de la celda (R).

En la medida que se reduce “ R ”, se puede disminuir “ D ” y se incrementa el re-uso de la frecuencia, aumentando con ello la capacidad del sistema.

Retícula de planificación:

Para lograr el cubrimiento celular se utiliza lo que se denomina retícula de planificación que consiste de un sistema de coordenadas oblicuas con ángulo de 60 grados. Las estaciones bases se ubican en los puntos de intersección denominados nodos. En la figura III: 8. se muestra un ejemplo de una retícula de planificación.

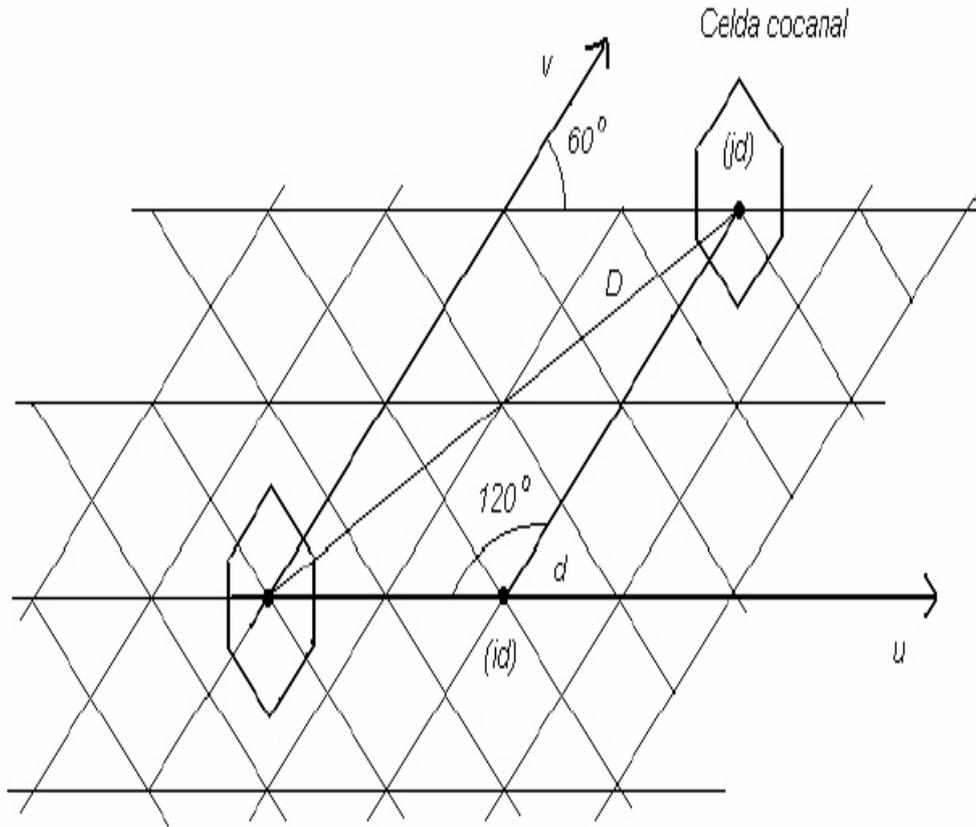


Figura III.8 Retícula de planificación

Los lados del hexágono son perpendiculares a los ejes (u, v) y la apotema es igual a la mitad de la distancia d entre nodos consecutivos. Esta distancia “d” se denomina paso de la retícula. La relación entre d y R puede calcularse como:

$$d = 2R \cos 30^\circ = \sqrt{3}R \quad (4)$$

Aplicando la ley de los cosenos, la distancia al origen de coordenadas, desde un punto arbitrario de coordenadas (id, jd) es:

$$D^2 = (id)^2 + (jd)^2 - 2(id)(jd)\cos 120^\circ \quad (5)$$

Donde “i” y “j” son enteros. Agrupando términos se tiene:

$$D^2 = d^2(i^2 + j^2 + i \cdot j) \quad (6)$$

Como “i” y “j” son valores enteros, la combinación $i^2 + j^2 + i \cdot j$ también será un valor entero que denominaremos “J” o número rómbico ya que si se unen 4 nodos separados una distancia “D” se formaría un rombo. Si la celda separada de la celda de referencia se toma como celda co-canal, entonces “D” es la distancia de reutilización y el rombo mencionado anteriormente se denomina rombo co-canal. Veamos ahora el significado de “J”. El área del rombo co-canal y el área de cada celda hexagonal son:

$$A_{rombo} = \frac{D^2 \sqrt{3}}{2} \quad (7)$$

$$A_{celda} = \frac{3\sqrt{3}}{2} R^2 \quad (8)$$



Dividiendo (7) entre (8) se obtiene:

$$A_{\text{rombo}} / A_{\text{celda}} = \frac{1}{3} \left(\frac{D}{R} \right)^2 \quad (9)$$

Por la definición de “J”:

$$J = i^2 + j^2 + i \cdot j = \left(\frac{D}{d} \right)^2 \quad (10)$$

Sustituyendo (4) en (10) se obtiene que:

$$J = \left(\frac{D}{D\sqrt{3}} \right)^2 = \frac{1}{3} \left(\frac{D}{R} \right)^2 \quad (11)$$

Comparando (11) y (9) se llega a la conclusión de que en el rombo caben exactamente “J” celdas. Este grupo de celdas se denomina racimo (cluster en inglés).

III. 2. 7. CELDAS OMNIDIRECCIONALES.

Cuando las estaciones bases de cada celda poseen antenas con patrón omnidireccional en el plano horizontal, se produce el denominado modelo de 6 celdas interferentes que se muestran en la figura III. 9.

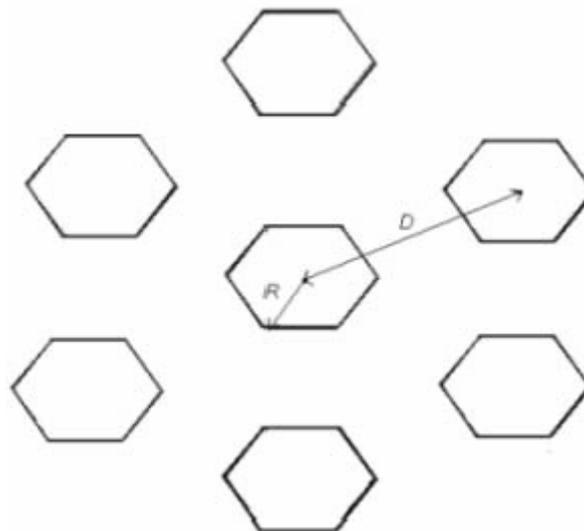


Figura III. 9. Modelos de 6 celdas interferentes.

La relación C/I es:

$$C/I = \frac{C}{\sum_{K=1}^6 I_K} \quad (12)$$



Como la pérdida del trayecto sigue la ley $L_b = Kd^n$ y todos los transmisores radian igual potencia P_t omnidireccional, entonces:

$$C = \frac{P_t}{KR^n}; \quad I_K = \frac{P_t}{K(D-R)^n} \quad (13)$$

Como $D \gg R$, sustituyendo (13) en (12), se obtiene que:

$$C/I = \frac{1}{6} \left(\frac{D}{R} \right)^2 \quad (14)$$

De la expresión (11) se obtiene que sustituyendo esta expresión en (14):

$$C/I = \frac{1}{6} (3J)^2 \quad (15)$$

Sea R_p la razón de protección en dB, entonces:

$$C/I = 10^{\frac{R_p(dB)}{10}} \quad (16)$$

Combinado (15) y (16) se obtiene una ecuación de diseño muy importante.

$$J \geq \frac{1}{3} \left(6 \cdot 10^{\frac{R_p(dB)}{10}} \right)^{\frac{2}{n}} \quad (17)$$

Por ejemplo para un sistema que tenga una razón de protección de 17 dB (en el sistema GSM es típico 9 dB) y una atenuación de la señal de 38 dB/década en el trayecto de propagación se tiene que: $j \geq \frac{1}{3} (6 \cdot 10^{\frac{17}{10}})^{\frac{3}{38}} = 6.7$ por lo que se necesitarán 7 celdas/racimo.

III. 2. 8. CELDAS SECTORIZADAS.

Cuando el tráfico es elevado es práctica usual utilizar antenas direccionales en el plano horizontal con ancho de haz típico de 120 grados. Analicemos ahora la interferencia a partir del cubrimiento sectorizado (ver figura III.10). Por analogía al análisis de las 6 celdas omnidireccionales interferentes, es posible escribir:

$$C = \frac{P_t}{KR^n}; \quad I_K = \frac{P_t'}{K(D-R)^n} \quad (18)$$

Donde:

P_t representa la potencia radiada por el lóbulo principal y P_t' representa la potencia radiada por el lóbulo trasero.

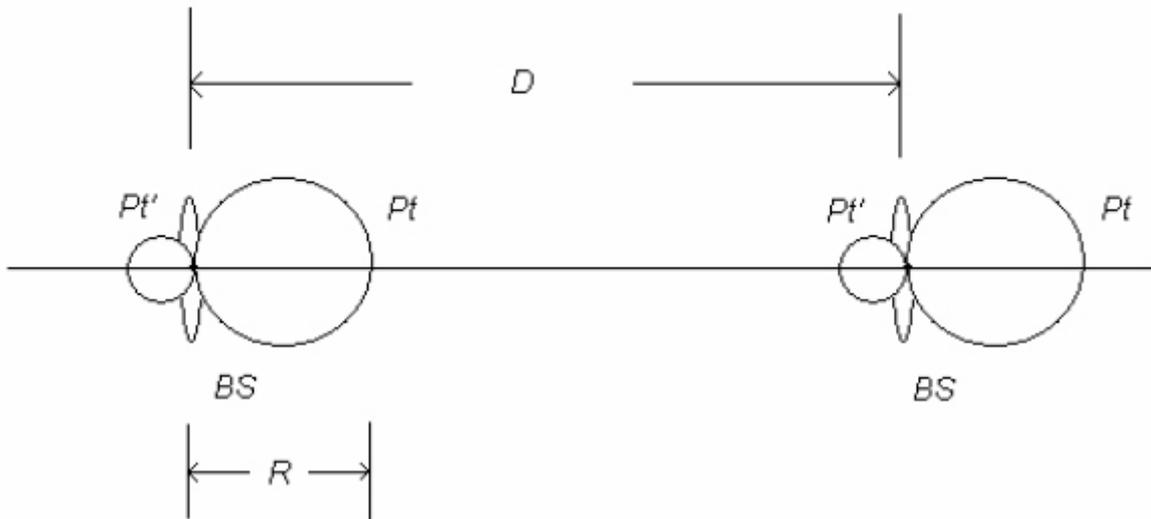


Figura III. 10. Modelo de interferencia en celdas sectorizadas.

La relación C/I es:

$$C/I = \left(\frac{D-R}{R}\right)^n \cdot \frac{P_t}{P_t'} \quad (19)$$

Como sabemos $D \gg R$ y el cociente de potencias se identifica por definición como la razón "From-to-Back" (RFB), entonces:

$$C/I = \left(\frac{D}{R}\right)^n \cdot RFB \quad (20)$$

Usando (16) y RFB en dB, entonces:

$$J \geq \frac{1}{3} \left(Fll \cdot 10^{\frac{(R_p - RFB)}{10}} \right)^{\frac{2}{n}} \quad (21)$$

Donde Fll representa el factor de lóbulos laterales (≥ 1) y está asociado con la posible interferencia proveniente de otros lóbulos laterales co-canales pertenecientes a otras antenas direccionales correspondientes a otros sectores.

De (20) se desprende que se puede disminuir la distancia de reutilización "D" (R fijo) sin afectar la razón de protección, a partir de un valor adecuado de la razón "From-to-Back".

Mediante un ejemplo, la implicación práctica de todo lo expuesto anteriormente, imaginemos que se hace un diseño y planeamiento de un sistema celular y que, al cabo del tiempo, el mismo no cumple con los requisitos de tráfico (por ejemplo GoS) para lo cual fue diseñado (el sistema utiliza antenas omnidireccionales). Si colocáramos antenas sectorizadas esto nos permitiría disminuir la distancia de reutilización, para un valor de R fijo, sin tener que variar la geometría del sistema (lo cual conllevaría a instalar nuevas estaciones bases). A su vez, al disminuir la distancia de reutilización aumenta el rechazo de la frecuencia y por lo tanto con ello, la capacidad del sistema.



III. 2. 9. CALCULO DE COBERTURAS EN GSM.

El interés de los planificadores se centra en dos tipos de entornos de propagación claramente diferenciados: *Macrocelulares* y *Microcelulares*.

Macrocelulas:

Se entiende como macrocélula aquella celda que proporciona cobertura con un alcance de algunos kilómetros. La definición es bastante amplia, ya que numerosos y muy diferentes entornos de propagación pueden considerarse macrocelulares; por ejemplo: zonas rurales, zonas montañosas, autopistas, zonas residenciales suburbanas, zonas residenciales urbanas e incluso zonas urbanas con alta densidad de edificios. En estas últimas sigue en vigor la definición de macrocélulas, siempre y cuando las estaciones de base se encuentren por encima de las alturas medias de los edificios circundantes, típicamente en mástiles sobre tejados.

Parece claro que la aplicación de un mismo modelo para entornos tan diferentes no es óptima, aunque es típico que sea así en la mayoría de las aplicaciones comerciales. Es habitual el uso de un modelo basado en expresiones empíricas que considera variaciones estadísticas en función de la morfología del terreno.

El modelo elegido suele ser el de Okumura-Hata con las modificaciones introducidas por el COST-231. A éste es habitual añadirle un término que considera las pérdidas en aristas múltiples, según alguno de los modelos clásicos (Epstein-Peterson, Deygout, Giovanelly, etc). Estos métodos emplean diferentes aproximaciones al problema de evaluar la pérdida multiarista a partir de la expresión clásica de Fresnel para una única arista. La figura III. 11. muestra un resultado típico de este tipo de cálculos.

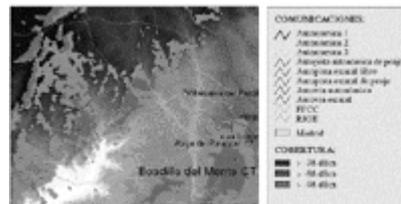


Figura III. 11. Cobertura de una célula en un entorno macrocelular

Los aspectos en que las herramientas comerciales se diferencian entre sí, se refieren, fundamentalmente, al ajuste de constantes de configuración de los modelos de propagación y a la utilización de factores de corrección de los mismos. Otro aspecto interesante es la posibilidad, que facilitan algunas herramientas, de incorporar modelos externos.



Microceldas:

Las microcélulas son, por definición, células urbanas cubiertas por estaciones de base con antenas transmisoras colocadas por debajo de las alturas medias de los edificios circundantes. Se produce la propagación guiada de las ondas por las calles mediante reflexiones, difracciones en esquinas y, eventualmente, contribuciones de señal difractada por encima de los tejados. El alcance (cobertura) suele ser inferior a 1 km.

Se acostumbra a considerar dos aproximaciones alternativas a la solución de este problema electromagnético: la primera se basa en el uso de un modelo de cálculo rápido (aunque sólo proporciona resultados aproximados), la segunda utiliza un modelo que se aproxima a la solución con la máxima exactitud sin recortar el tiempo de cálculo. El modelo empírico de Walfisch-Ikegami/COST 231 satisface las primeras condiciones (debe usarse con precaución en entornos microcelulares puros) y un modelo determinista de trazado de rayos 2D+2D, eficientemente implementado, satisfacen las segundas.

En la actualidad son pocas las herramientas que incorporan un modelo de trazado de rayos (ver la figura III. 12.), pero es una de las tendencias más marcadas para un futuro cercano.

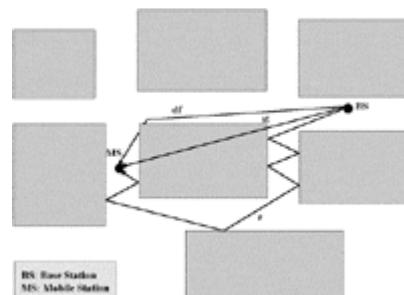


Figura III. 12. Trazado de rayos: rayos sobre tejados (st), reflejado (r) y difractado (df)

III. 2. 9. 1. MODELADO DE TRÁFICO Y CAPACIDAD DE LA RED.

El modelado del tráfico y, por ende, de la capacidad de la red supone uno de los puntos débiles de las actuales herramientas de planificación, que no parece vaya a resolverse a corto plazo, y que, sin embargo, es uno de los problemas principales que se plantean al operador cuando crece el número de usuarios de su red.

La forma en la que se trata el problema del tráfico es mediante la inclusión de una capa adicional de información de demanda de tráfico en Erlang/km². Algunas herramientas facilitan, además, utilidades para crear esta capa a partir de medidas de tráfico cursado por las estaciones de base y permite su distribución en función de la morfología (rutas) o considerando la zona de cobertura.

Por último, el dimensionado de la capacidad de la red se realiza a partir del grado de servicio y de la calidad de éste, el cual se fija como objetivo de diseño de la red. El criterio establecido para la asignación de usuarios a los servidores disponibles es el del mejor servidor (el que ofrece el mayor nivel de señal). Este criterio no es óptimo en entornos con alta densidad de usuarios, donde sería más adecuado utilizar alguno que



considere también el nivel de interferencia, especialmente en entornos multicapa macro y microceldas o ante la posibilidad de operación dual GSM 900 y DCS 1800.

III. 2. 9. 2. PLANIFICACIÓN DE FRECUENCIAS.

La planificación de frecuencias es el problema más complejo al que se enfrentan las herramientas de planificación. Para su realización se debe partir de un conjunto de cálculos previos (cobertura, niveles de interferencia y lista de estaciones vecinas) con los que se obtienen las matrices de interferencias y de separación de canales. A partir de éstas, teniendo en cuenta las restricciones impuestas por el usuario, se determinan los canales a asignar, partiendo de algoritmos con diferentes funciones de coste (minimización de las interferencias, optimización del uso del espectro, etc).

Hay pocas herramientas que realicen una planificación automática de frecuencias fiable. En la mayoría de los casos las restricciones que se pueden indicar no contemplan todas aquéllas consideradas por el operador, no se hace uso de los algoritmos más adecuados o no se considera la posibilidad de usar frequency hopping.

Una vez realizada la planificación de frecuencias deben comprobarse los niveles de interferencia en el sistema. Para ello, se debe poder analizar las interferencias cocanal y de canal adyacente en canales diferenciados voz, datos y señalización, para el enlace ascendente y/o descendente. La mayoría de las herramientas permiten realizar estos cálculos de forma más o menos completa (algunas sólo consideran el enlace descendente, otras no diferencian el tipo de interferencia, etc).

INTEGRACIÓN DE MEDIDAS:

Una vez que la red está operativa es normal que el operador disponga de medidas.

Existen dos tipos básicos de medidas que la herramienta debe ser capaz de asimilar y tratar: medidas masivas de intensidad de campo (figura III. 13.) y medidas de operación a lo largo de una ruta incluyendo intensidad de campo, realización de handovers y otros eventos.

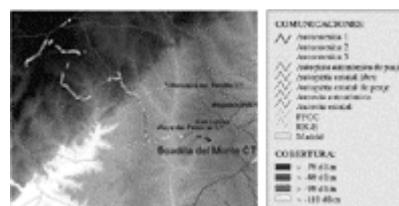


Figura II. 13. Medidas de intensidad de campo a lo largo de una ruta.

Las facilidades aportadas por las diferentes herramientas difieren considerablemente, aunque las más avanzadas permiten importar medidas en distintos formatos, el ajuste del posicionamiento geográfico para corregir errores en el sistema de posicionamiento del equipo de medida (generalmente un GPS), el análisis de la consistencia y el filtrado de las medidas. Además, introducen suficientes capacidades para la representación y análisis de las mismas.

Por último, en los entornos macrocelulares se da la posibilidad de ajustar el modelo de propagación utilizando las medidas existentes. El ajuste depende del grado de



configurabilidad del modelo, en la implementación dada por la herramienta y las facilidades existentes, si bien son una ayuda, no resuelven el problema en su totalidad.

LIMITACIONES:

En los apartados anteriores se han descrito algunas deficiencias en la realización de los diferentes cálculos. Cabe destacar también otras limitaciones; entre ellas: las que se refieren al tratamiento de diferentes sistemas, la operación de sistemas en modo dual y en modo multibanda o la implementación de estructuras multicapa (macro y microceldas, celdas paraguas, etc.). Bases de datos de información del terreno y sensibilidad de los modelos de propagación.

En este apartado se revisan las limitaciones inherentes a la información de caracterización del entorno y se evalúa la sensibilidad de los modelos de propagación más comunes respecto de dichas limitaciones.

MACROCÉLULAS:

Para realizar los cálculos de propagación en entornos macrocelulares se utilizan bases de datos geográficas que contienen información topográfica (altura del terreno) y morfológica (uso del terreno) con una resolución que suele oscilar entre los 50 m y los 200 m. Esta información suele extraerse a partir de fotografías aéreas. Los cálculos son muy sensibles a errores en ambos tipos de información:

- En el caso de la altura del terreno, los cálculos más sensibles son los de difracción. Se producen errores que pueden oscilar entre 0,3 y 1 dB por cada metro de error en la altura del obstáculo, para un único obstáculo. En el caso de múltiples obstáculos el error se propaga.
- En el caso de la morfología, los modelos de propagación incorporan factores de corrección por uso del terreno que oscilan entre 0 y 30 dB. Cualquier inexactitud en la base de datos puede dar lugar a una aplicación errónea de estos factores de corrección, con el consiguiente error en los cálculos de cobertura.

MICROCÉLULAS:

El modelado preciso de las condiciones de propagación en entornos microcelulares requiere contar con bases de datos del terreno con una resolución de hasta 1 m. Por otra parte, no sólo la resolución ha de ser mayor, sino que el nivel de información requerida es mucho más detallado. Es necesario contar con información tridimensional del entorno y la caracterización de los materiales constitutivos de los posibles dispersores, como edificios y otros obstáculos. Contar con todo este conjunto de información es costoso, dada la no disponibilidad comercial de la misma. Estudios realizados sobre la sensibilidad de los diferentes modelos de propagación microcelulares, respecto de los errores en las bases de datos, muestran la importancia de la exactitud en las mismas.



Figura III. 14. Modelado de un ambiente urbano en 3D

Como ejemplo del tipo de errores que aparecen, se presenta un estudio en el que, partiendo de un escenario tipo en la ciudad de Barcelona (figura III. 14 y III. 15), se ha procedido a modificar las bases de datos originales introduciendo errores con media cero y diferentes desviaciones típicas en la altura y la forma de los edificios.

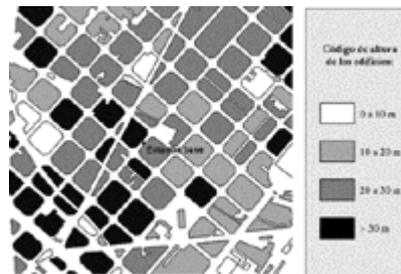


Figura III. 15. Escenario del estudio de sensibilidad de los modelos

En las tablas III.1 y III.2 se muestran los resultados para diferentes modelos de propagación, tanto empíricos (Sakagami y Walfisch-Ikegami) como deterministas (trazado de rayos), con la antena por encima (macrocélula) y por debajo de la altura media de los tejados (microcélula).

Modelo	ANTENA SOBRE LOS TEJADOS (h=35m)		ANTENA BAJO LOS TEJADOS (h=8m)	
	Media de error (dB)	Desviación típica del error (dB)	Media de error (dB)	Desviación típica del error (dB)
Trazado de rayos	0,22	11,69	0,12	11,03
Sakagami	1,26	7,25	Modelo no aplicable	Modelo no aplicable
Walfisch	0,37	2,53	0,08	1,70

Tabla III.1. Errores en la forma de los edificios ($m=0$, $\sigma= 5m$)

Modelo	ANTENA SOBRE LOS TEJADOS (h=35m)		ANTENA BAJO LOS TEJADOS (h=8m)	
	Media de error (dB)	Desviación típica del error (dB)	Media de error (dB)	Desviación típica del error (dB)
Trazado de rayos	3,97	14,09	1,27	2,00
Sakagami	1,29	1,64	Modelo no aplicable	Modelo no aplicable
Walfisch	10,06	6,02	3,33	2,50

Tabla III. 2. Errores en la altura de los edificios ($m=0$, $\sigma= 5m$)



Los resultados del experimento muestran como, contar con información de caracterización de los edificios poco precisa, se traduce en la obtención de unos valores de potencia recibida incorrectos.

III. 2. 9. 3. ASPECTOS PRÁCTICOS.

ENTORNO DE TRABAJO:

Las herramientas de planificación han sido desarrolladas para trabajar sobre estaciones de trabajo y presentan importantes requerimientos en términos de memoria y disco duro. En la actualidad empiezan a aparecer en el mercado herramientas desarrolladas para ordenadores personales, pero se trata de herramientas menos potentes.

Destaca el énfasis en la interfaz de usuario, mediante el uso de un entorno de ventanas intuitivo y de fácil manejo.

Otro aspecto importante, es la capacidad de la herramienta para trabajar en modo multitarea y para la gestión del acceso compartido a la información de todo tipo. Este problema todavía no está resuelto en la mayoría de las herramientas analizadas.

TIEMPOS DE CÁLCULO Y MANEJABILIDAD:

Aparte de la comodidad de uso y las facilidades que aporta la herramienta, es importante saber los tiempos de ejecución y la utilización de recursos. Los cálculos de coberturas, macro y microcelulares, son los que marcan la diferencia entre las herramientas analizadas, en términos de tiempos de cálculo.

En la tabla III.3 se presenta un ejemplo de los tiempos empleados por las diferentes herramientas, en el cálculo de la propagación correspondiente a 15 células en un entorno macrocelular.

HERRAMIENTAS	RESOLUCIÓN (m)	RADIO (km)	TIEMPO	EQUIPO EMPLEADO
NPS/X 3.1	50	30	42'	HP 712/80 (RAM: 128 MB)
PlaNET 2.6	50	30	350'	SPARCstation 20 (RAM: 4 MB)
CellCAD II	50	30	45'	SPARCstation 20 (RAM: 5 MB)
GRAND/X	50	30	175'	VAX 11/780

Tabla III.3. Tiempos de cálculo de cobertura en un entorno macrocelular

El tiempo empleado en entornos microcelulares, al hacer uso de modelos deterministas, es mucho mayor. Este hecho, unido a la baja resolución y precisión de la información geográfica relevante, lleva a cuestionar a los planificadores el interés del uso de este tipo de modelos frente a los modelos empíricos.



OTROS ASPECTOS DE EVOLUCIÓN:

Además de los aspectos relacionados con la planificación de frecuencias, el cálculo de la demanda de canales y la caracterización de algunos parámetros inherentes al sistema, se está trabajando en otros tales como:

- Mejora de las herramientas a nivel software (accesos más rápidos a las bases de datos, nuevas facilidades para la organización de la información, presentación de resultados más atractivos, etc).
- Mejora de las facilidades ya existentes (nuevos modelos para el cálculo de coberturas en entornos microcelulares basados en el trazado de rayos, nuevos formatos de medidas, etc.).
- Incorporación de nuevas facilidades (planificación de sistemas multicapas, planificación de redes duales, etc.).

III. 2. 9. 4. HERRAMIENTAS DE PLANIFICACIÓN AVANZADAS.

Aparte de las funcionalidades que hemos descrito como vías de evolución de las herramientas de planificación actuales, las herramientas avanzadas han de contemplar la evolución de los sistemas actuales a corto y medio plazo, y la eventual implantación de los sistemas de tercera generación Universal Mobile Telecommunication Systems (UMTS) a más largo plazo.

Todos estos aspectos se han considerado en el diseño del prototipo que está siendo desarrollado por el proyecto ACTS STORMS1 (Software Tools for the Optimization of Resources in Mobile Systems), proyecto en el que colabora Telefónica I+D (ver la figura III. 16.).

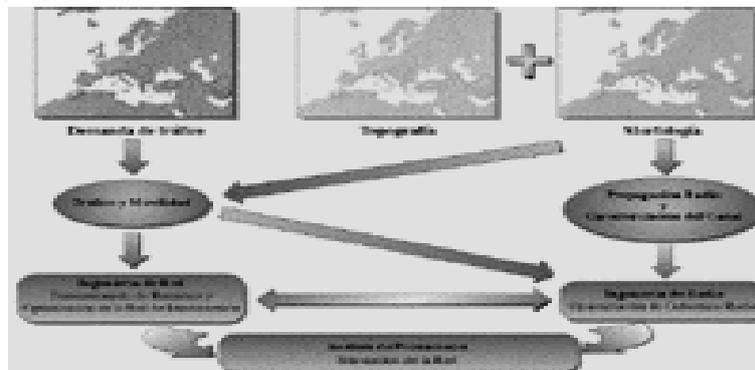


Figura III. 16. Diagrama funcional de una herramienta de planificación avanzada

III. 2. 9. 4.1. MODELOS AVANZADOS PARA LA PREDICCIÓN DE LA COBERTURA RADIOELÉCTRICA.

La evolución de la explotación de los sistemas móviles hacia la tercera generación con llevará la implantación de estos sistemas en entornos hasta ahora no contemplados (picoceldas en interior de edificios, celdas a bordo de satélites etc.), así como la introducción de servicios de banda más ancha y la transición a la banda de 1800 MHz.



Desde el punto de vista de la predicción de coberturas, esto se traduce en la necesidad de modelar entornos hasta ahora no contemplados y con una mayor resolución. Por otra parte, los modelos de predicción de coberturas, han de considerar, no sólo los niveles de potencia media recibidos y su varianza, sino también factores como la máxima dispersión temporal, a la que pueden ser sensibles algunos servicios y sistemas.

MODELOS PICOCELULARES:

Aparte de los entornos macro y microcelulares en los que ya hoy en día se está realizando la planificación y la operación de las redes celulares el futuro verá la evolución hacia escenarios picocelulares. Las picoceldas son celdas de tamaño generalmente menor que las microceldas y situadas en el interior de edificios. Comenzará a hacerse necesario, en consecuencia, contar con métodos de predicción de coberturas radioeléctricas en entornos interiores.

Estos entornos se caracterizan, desde el punto de vista de la propagación, por una presencia muy importante de obstáculos dispersores. Ello provoca una varianza muy importante en los niveles de potencia media recibidos en distintos emplazamientos y una fuerte dispersión temporal de la onda que llega al receptor.

Se abren dos posibilidades alternativas para abordar este problema, basadas en modelos de tipo estadístico o determinista. Los primeros se basan en la información estadística referente a las características promedio de los dispersores en este tipo de entornos, mientras que los segundos utilizan información realista. Parece obvio que los primeros encontrarán su margen de aplicación cuando se carezca de la información de caracterización de los dispersores con el adecuado nivel de detalle.

En cualquier caso, en este tipo de entornos, de tan alta varianza, no es conveniente la aplicación de modelos de carácter heurístico, por lo que se ha de recurrir a aproximaciones físicas al problema (mediante técnicas de trazado de rayos, por ejemplo).

MODELOS DE PENETRACIÓN EN EDIFICIOS:

La extensión de la provisión de servicios celulares a entornos de interior de edificios hace preciso considerar la penetración de señal hacia y desde dichos edificios. De este modo, es posible determinar niveles de interferencia no deseados o incluso la posibilidad de extender el servicio proporcionado por microceldas en el exterior hacia el interior de determinados edificios.

En el proyecto STORMS se ha propuesto un modelo de difracción tridimensional, que se basa en la representación de las diferentes apariencias de los edificios mediante planos conductores perfectos, de grosor finito. Estos planos aparecen perforados periódicamente por aperturas rectangulares, que representan las correspondientes ventanas. Este modelo, de base física, permite determinar la penetración en función del ángulo de incidencia de la onda y el tamaño medio de las ventanas.



MODELOS DE TRÁFICO Y MOVILIDAD:

Asimismo, las herramientas de tercera generación incorporarán modelos de tráfico y movilidad mejorados. Estos permitirán estimar la densidad de demanda de tráfico en función de la información demográfica. Evidentemente, las dificultades inherentes a este tipo de modelado hacen recomendable la utilización de datos medidos sobre la red ya operativa, siempre que ello sea posible. Pero si no es éste el caso, es decir, en las etapas iniciales de la planificación, estos modelos encuentran una aplicación inmediata. Es previsible el desarrollo de modelos de densidad de tráfico no uniformes. Se considerarán distintos patrones de movilidad para distintos perfiles de usuarios (incluyendo el caso, muy significativo y hasta ahora no considerado, de los desplazamientos en transportes colectivos), para distintos servicios, y también para distintos entornos.

III. 2. 9. 5. OPTIMIZACIÓN AUTOMÁTICA.

OPTIMIZACIÓN DE LA CONFIGURACIÓN RADIO:

La planificación radio se realiza actualmente de modo manual. El operador selecciona una serie de emplazamientos y ajusta las características de radiación de las estaciones de base tipo de equipo, potencia nominal de transmisión, diagrama de antena, altura y orientación de antena. Para la configuración de la red radio así establecida, se realiza el cálculo de la cobertura obtenida, esta vez sí de modo automático, haciendo uso de las herramientas de predicción de coberturas. Está claro que es deseable realizar estas acciones de forma automática.

La primera etapa de la optimización determina la densidad mínima de la red de estaciones de base que proporcionará la capacidad deseada (este cálculo se basa en un estudio de la densidad de demanda de tráfico en el entorno). Tomando como referencia esta densidad de la red, se seleccionan los emplazamientos óptimos para estas estaciones base (esta selección se realiza de modo automático, aunque se ofrece al operador la posibilidad de seleccionar emplazamientos adicionales o modificar los dados). Una vez identificado este conjunto de emplazamientos, se procede a la determinación mediante procedimientos heurísticos de los parámetros de radiación. Finalmente, mediante optimización se extrae del conjunto inicial de estaciones bases candidatas a un subconjunto optimizado, que permita hacer frente a los requerimientos de cobertura y capacidad establecidos.

En concreto, esta última etapa de optimización se ha resuelto mediante un algoritmo genético como los comentados en la sección correspondiente. Este tipo de algoritmos ofrece unas excelentes propiedades, en cuanto a flexibilidad para adaptarse a los diferentes problemas, aunque por otra parte se requiere un ajuste fino de los parámetros involucrados.

Una de las opciones interesantes que ya se ha implementado es el concepto de islas. En el contexto de la optimización genética, una isla es una población de soluciones individuales que evolucionan de manera aislada. El intercambio genético entre las distintas islas se realiza sólo de manera controlada, de modo que se garantiza la exploración de distintas alternativas, y se limitan las posibilidades de que se produzca el bloqueo entorno a un máximo local.



OPTIMIZACIÓN DE FRECUENCIAS Y DE LA RED FIJA DE SOPORTE:

Las herramientas comerciales actuales ya incorporan la facilidad de optimizar de modo automático los planes de frecuencias. Sin embargo STORMS va más allá en cuanto que, apoyándose en los modelos de tráfico con que cuenta, incluye la consideración adicional de la carga de señalización. Por otra parte, incorpora el modelado de técnicas de frequency hopping y de asignación dinámica de canales (DCA).

Ofrece también herramientas para el diseño de la red de interconexión, contemplando la aplicación de técnicas como ATM.

SIMULADOR DE SISTEMA:

La implantación de los futuros sistemas de tercera generación puede parecer una posibilidad lejana. Pero, por el contrario, no lo es en absoluto la evolución paulatina de los sistemas actuales, intentando sobrellevar las dificultades a los que éstos ya se enfrentan, como pueda ser el requerimiento de una mayor capacidad. Así, el frequency hopping, una de las opciones del GSM, es uno de los aspectos que las herramientas de planificación no consideran al realizar la optimización de los planes de frecuencias. La situación se hará más compleja al introducir algoritmos de asignación dinámica de frecuencias y técnicas como el Packet Radio Mobile Access (PRMA++).

Otra problemática que surgirá, en un plazo relativamente corto, es la asociada con la operación de redes en modo dual. De hecho, determinados operadores de nuestro entorno se están enfrentando ya al reto de hacer operativas, de modo conjunto, grandes redes GSM y DCS 1800. El grado de similitud entre ambos estándares facilita esta operación dual. Sin embargo, es necesario que las herramientas de planificación incorporen la capacidad de modelar distintas capas operativas para que la optimización conjunta de ambas redes pueda ser una realidad.

Finalmente, no está claro si la interfaz radio de estos sistemas futuros se basará en TDMA o en CDMA e incluso en alguna técnica híbrida. Por ello STORMS debe desarrollar una herramienta lo suficientemente flexible como para dar cabida a esta indeterminación.

La planificación de sistemas de tercera generación requerirá, STORMS así lo contempla, la provisión simultánea de un abanico de nuevos servicios, interconexión de redes, nuevas y flexibles arquitecturas de red que proporcionen soluciones en entornos muy diferentes, nuevas técnicas de transporte (ATM), uso de controladores inteligentes y bases de datos distribuidas, etc. Por otra parte, se introducirán nuevas técnicas de gestión de movilidad y de handover con implicaciones, no sólo a nivel de señalización, sino de canales de tráfico.



III.3. FUNCIONAMIENTO DE UN SISTEMA CELULAR TÍPICO.

Los 6 componentes básicos de un sistema telefónico celular son:

1. Centro Electrónico de Conmutación: Es una central telefónica, la cual efectúa dos funciones esenciales la primera es controlar la conmutación entre la red telefónica pública y los sitios de células para llamadas, la otra función es procesar los datos recibidos de los controladores de sitio a cerca del estado de la unidad móvil, datos de diagnostico y compila información de compilación. La central se comunica con los controladores usando el protocolo X.25 y con transmisión duplex de 9.6 Kbps.
2. Controlador de Sitio: Administra cada canal de radio en cada sitio, supervisa las llamadas, enciende y apaga el radiotransmisor y receptor, inyecta datos en los canales de control y de usuario, y hace pruebas de diagnostico al equipo de sitio.
3. Radio Transceptores: Los radio transceptores que se utilizan para la radio celular son de FM de banda angosta para sistemas analógicos y QPSK para digitales, con una banda audiófono de 300 Hz a 3 KHz.
4. Interconexiones del sistema: Se usan líneas telefónicas rentadas, de 4 conductores, para conectar los centros de conmutación a cada uno de los sitios de célula. Hay un circuito troncal dedicado, de 4 conductores, para cada uno de los canales de usuario. También debe haber al menos un circuito troncal de 4 conductores para conectar la central con el controlador de sitio, que funcione como canal de control.
5. Unidades Telefónicas Móviles y Portátiles: Estas unidades son casi idénticas las únicas diferencias son que las unidades portátiles tienen menor potencia de salida, antena menos eficiente y funcionan en forma exclusiva con batería. Cada unidad telefónica móvil consiste en una unidad de control, un radio transceptor, una unidad lógica y una antena móvil.
6. Protocolo de Comunicaciones: Determina la forma en que se establece una llamada telefónica. Los protocolos de celulares cambian dependiendo del país.



III.3.1. SEÑALIZACIÓN.

Una llamada telefónica en una red celular requiere el uso de dos canales duplex de voz de forma simultánea, uno llamado canal del usuario y otro llamado canal de control. La estación base transmite y recibe el canal de control directo y el canal de voz directo y la unidad móvil transmite y recibe en los canales de control y de voz en inversos.

En un sistema celular móvil, las llamadas se pueden hacer entre un teléfono de cable y uno móvil, o entre dos teléfonos móviles.

III.3.2. LLAMADAS DE TELÉFONO POR CABLE A MÓVIL.

El centro de conmutación del sistema celular recibe una llamada de un teléfono por cable a través de una línea dedicada de interconexión de la red telefónica pública. La central traslada los dígitos de marcación recibidos y determina si la unidad a la que se destina la llamada esta desocupada u ocupada. Si esta disponible, la central localiza al suscriptor móvil.

A continuación una respuesta de voiceo de la unidad móvil, la central asigna un canal inactivo e instruye a la unidad móvil para que se sintonice en esa frecuencia. La unidad móvil manda una verificación de sintonización de canal a través del controlador de sitio, que responde con un tono de progreso de llamada al teléfono móvil del suscriptor, haciéndolo que suene. La central termina los tonos de progreso de llamada cuando recibe una indicación positiva de que el suscriptor ha contestado el teléfono, y que ha comenzado la conversación entre las dos partes.

III.3.3. LLAMADA DE TELÉFONO MÓVIL A TELÉFONO DE CABLE.

El suscriptor oprime una tecla de mandar (Send) que transmita el número llamado, así como el número de identificación del suscriptor móvil, a la central. Si el número de identificación es valido, la central conduce la llamada por una interconexión de línea rentada, a la red telefónica pública que completa la conexión al teléfono por cable llamado.

III.3.4. LLAMADA DE MÓVIL A MÓVIL.

La parte que llama ingresa el número que llama en la memoria de la unidad, mediante el teclado y a continuación oprime el botón de mandar (Send). La central recibe el número de identificación de quien llama y el número llamado, y a continuación determina que si la unidad llamada esta desocupada para recibir una llamada. La central manda una orden de voiceo a todos los controladores de sitio y a la parte llamada, que puede estar en cualquier parte del área de cobertura, recibe esa señal. Después de una localización positiva por la parte llamada, la central asigna un canal desocupado de usuario y las instruye a sintonizar ese canal respecto de usuario. A continuación suena el teléfono llamado para comenzar la conversación.



III.4. SISTEMAS DE TMA CELULAR DIGITAL.

Las ventajas de un sistema digital son:

1. Puesto que la información que maneja el sistema (voz o datos) digital, se posibilita una interconexión con la RDSI.
2. Un sistema digital que permita la implantación de protocolos de señalización rápidos, potentes, seguros y flexibles que permiten una amplia gama de servicios suplementarios.
3. Absoluta confidencialidad en las comunicaciones de voz al hacer técnicas de cifrado digitales.
4. Mejora de la calidad de las comunicaciones al incorporarse modulaciones digitales que permiten trabajar con mayores relaciones señal a ruido, códigos de detección de errores, técnicas de ecualización potentes, etc. Todo ello permite reducir la distancia de reutilización y por tanto a una mayor densidad de tráfico con el mismo ancho de banda.
5. La tecnología digital permite el uso de técnicas de acceso múltiple por división de tiempo (TDMA). Es decir, que un mismo radiocanal es utilizado por distintos usuarios en intervalos de tiempo diferentes y solapados. Esto permite aumentar todavía más la eficiencia espectral.



III.4.1. ACCESO MÚLTIPLE TDMA.

En los sistemas Acceso Múltiple por División en el Tiempo (TDMA), la banda total disponible se divide en sub-bandas. A cada sub-banda se le asigna una portadora a la cual se le aplica el TDMA, por lo que, tales sistemas son TDMA/FDMA, ya que los TDMA están multiplexados en frecuencia.

El empleo de la tecnología TDMA fue propuesto para lograr incrementar la eficiencia del espectro radioeléctrico en los sistemas celulares. El sistema TDMA tiene la capacidad de reducir el costo y volumen del equipo terminal tanto de la estación base como de la unidad móvil, ya que el equipo analógico podía ser reemplazado por medio de circuitos integrados con tecnología VLSI para el procesamiento digital de las señales.

El TDMA es una técnica de multiplexaje en tiempo para la transmisión de portadoras moduladas digitalmente, la cual se utiliza para establecer enlaces de comunicaciones entre varias estaciones que forman una red. Cada frecuencia portadora es dividida en un número determinado de ranuras de tiempo y cada ranura constituye un circuito telefónico independiente.

La técnica TDMA requiere una memoria determinada en la que se va depositando la información hasta que llega el instante de acceso al canal, por lo que los usuarios se comunican mediante ráfagas (Burst) de información. Un terminal utiliza siempre el mismo intervalo de tiempo durante una misma conversación

El principal inconveniente de este sistema son los requerimientos de exactitud de reloj para la adecuada sincronización, ya que la presencia de inestabilidad puede ser traducida en Time Jittering. El jitter se define como las pequeñas variaciones de los instantes significativos de una señal digital con respecto a su posición ideal en el tiempo. El efecto más adverso del problema de sincronización es el retardo por dispersión. Para remediar el problema de la sincronización se incluyen bits adicionales que permiten el mantenimiento de esta.



Capítulo IV:

EVOLUCIÓN DE LA TELEFONÍA DIGITAL



IV. EVOLUCIÓN DE LA TELEFONÍA DIGITAL.

IV.1. EVOLUCIÓN HISTÓRICA.

GSM es un sistema de comunicación basado en el uso de células digitales que se desarrolló para crear un sistema para móviles único que sirviera de estándar para Europa y que fuera compatible con los servicios existentes y futuros sobre ISDN (Integrated Services Digital Network) o RDSI (Red Digital de Servicios Integrados). Si hacemos un poco de historia la idea de comunicaciones basadas en células aparece en los laboratorios Bell en los Estados Unidos allá por el año 1970 apareciendo los primeros sistemas comerciales a principios de los 80's. La situación que se vivía en estos primeros años de la década de los 80's era curiosa ya que los sistemas existentes hasta ese momento eran sistemas analógicos (la primera generación como se la conoce en la que los sistemas predominantes eran el NMT-450 y NMT-900 en EEUU y el sistema AMPS se adaptó en Europa como sistema TACS) que habían tenido mucho éxito en los países nórdicos y en el Reino Unido sin embargo la nueva tecnología digital basada en células presentaba un panorama desolador ya que cada país había desarrollado su propio sistema, lo que implicaba algunos problemas muy importantes.

Esto era que la operatividad de terminal acababa donde acababa los límites de cada país y por otro lado el mercado para cada tipo de terminal era muy limitado y estaba restringido al país en donde el dispositivo fuese a ser utilizado.

Para solucionar estos problemas en el año 1982 el CEPT o Conference of European Posts and Telecommunications creó el denominado Groupe Special Mobile o GSM para desarrollar un sistema basado en células de radio y que sirvieran para todos los países europeos.

Los objetivos que perseguía este sistema eran:

- Mejora en la eficiencia del espectro.
- Capacidad de hacer un roaming internacional de una manera automática.
- Costes bajos.
- Alta calidad de la voz transmitida.
- Compatibilidad con otros sistemas.
- Posibilidad de ir añadiendo nuevos servicios a medida que se fuesen requerido.

En el año 1989 todas las responsabilidades que había tenido hasta ahora el CEPT se trasladan al European Telecommunications Standards Institute o ETSI, que va a ser el encargado de regular desde este momento todos los aspectos de las comunicaciones a través de GSM, los primeros sistemas comerciales basados en esta nueva red aparecen en el año 1991.



El sistema comercial GSM comenzó en 1991, y para 1993 había 36 redes GSM en 22 países. Hoy en día ya funcionan redes en más de 80 países en todo el mundo. América del Norte entro tarde al mercado GSM, con un derivado del sistema llamado PCS 1900. Hoy, existen sistemas GSM en todos los continentes, y el significado actual de GSM es Global System for Mobile Communications (*Sistema Global de Comunicaciones Móviles*).

IV.1.1. CRONOLOGÍA DE GSM.

Año - Suceso

- 1982 -El CEPT crea el grupo GSM.
- 1985 -Primera recomendaciones del grupo GSM.
- 1986 -Primeras pruebas de radio sobre GSM.
- 1987 -Se elige el sistema TDMA como técnica de acceso al medio.
- 1988 -Se valida el sistema GSM.
- 1989 -Se traspasa GSM del CEPT al ETSI.
- 1989 -Primeras especificaciones sobre GSM para desarrollar productos comerciales.
- 1990 -Lanzamiento de GSM a nivel comercial.
- 1991 -Inclusión de GSM en ciudades y aeropuertos.
- 1993 -Cobertura de GSM en autopista e inicio de su uso fuera de Europa.
- 1995 -Cobertura de áreas rurales.

IV.2. SISTEMA DE TELEFONÍA Movil DIGITAL GSM.

IV.2.1. INTRODUCCIÓN.

El GSM es un sistema telefónico celular de segunda generación, desarrollado al principio para resolver los problemas de fragmentación inherentes a los sistemas de primera generación en Europa. Antes del GSM, todos los países europeos usaban distintas normas de telefonía celular, por lo que era imposible que un suscriptor de cualquier país usara un sólo teléfono en toda Europa. El GSM fue el primer sistema telefónico celular totalmente digital, diseñado para usar los servicios de la ISDN (red digital de servicios integrados) para proporcionar una amplia gama de servicios a la red. Ahora cuenta con entre 20 y 50 millones de suscriptores, y es la norma mundial más popular para equipos telefónicos y equipos personales de comunicación nuevos.

IV.2.2. SERVICIOS Y FACILIDADES DEL SISTEMA GSM.

Todos los servicios disponibles en la Red Digital de Servicios Integrados (RDSI) han sido incluidos en el desarrollo de GSM. Sin embargo, debido a las limitaciones del interfaz radio (velocidad de transmisión de datos y tasa de errores), algunos servicios de la RDSI han sido desarrollados con restricciones.



IV.2.2.1. TELESERVICIOS.

La telefonía es el teleservicio más importante en el sistema GSM. Permite las llamadas entre la red pública (RTPC/RDSI) y la red móvil. También existen en el sistema GSM llamadas de emergencia más próximas, marcando simplemente el 112.

Se soporta el servicio de fax del Grupo 3 siempre que se disponga de los adaptadores de interfaz correspondientes.

Se dispone de un tipo de correo electrónico (E-mail). Es un servicio de mensajes cortos (140 bytes) que puede ser considerado como un servicio de búsqueda (paging) alfanumérico y bidireccional. Se confirma la entrega de los mensajes, lo que constituye una ventaja importante sobre los sistemas búsqueda. Esta disponible en modo punto a punto y difusión.

IV.2.2.2. SERVICIOS DE PORTADORES.

Para el caso de los servicios de datos, soportan velocidades de transmisión que van de los 300 bits/s a los 9.6 Kbits/s. El modo de transmisión puede ser tanto transparente como no transparente. En el último se consigue una protección adicional contra errores mediante un proceso de confirmación a nivel de protocolo del enlace de radio.

IV.2.2.3. SERVICIOS SUPLEMENTARIOS.

Muchos de estos servicios son equivalentes a los disponibles en la RDSI. Los principales servicios son: llamada restringida (con criterios tales como imposibilidad de realizar llamadas salientes o llamadas internacionales), desvío de llamadas (si el abonado móvil está ocupado o ausente), y la identificación del abonado llamante.

IV.2.2.4. MODULO DE IDENTIDAD DE ABONADO.

Una terminal GSM no tiene acceso a la red salvo si dispone de todos los datos específicos del abonado. Estos datos están incluidos en una tarjeta inteligente llamada SIM (Subscriber Identity Module) que debe de introducirse en el terminal. La tarjeta SIM, cuyo acceso se protege mediante un número de identificación personal, contiene no sólo los datos del abonado (número en la RDSI, clave personal, etc.) sino también determinada información personal, como marcación abreviada de números, lista de redes preferentes e información de tarificación. En la tarjeta SIM también se almacenan los mensajes cortos.

Con la tarjeta SIM se ofrecen servicios tales como la tarificación al usuario que realiza la llamada, con independencia del término utilizado.



IV.2.2.5. FUNCIONES DE SEGURIDAD.

El enlace del terminal con la red podría estar sujeto a intentos de utilización fraudulentos del canal o de interceptación no autorizada. En el sistema GSM la protección se realiza a tres niveles:

- Autenticación por el sistema de las tarjetas SIM, para impedir el acceso a usuarios no registrados.
- Cifrado de la transmisión de radio para impedir escuchas no autorizadas (voz y datos).
- Protección de la identidad del abonado.

La seguridad se consigue utilizando algoritmos de cifrado residentes en el terminal y en la red. La autenticación y el cifrado del enlace de radio son facilidades que pueden ser activadas por el operador.

IV.3. ARQUITECTURA FUNCIONAL E INTERFACES DE UN SISTEMA GSM.

En la figura IV.1 se muestran las principales entidades funcionales e interfaces de un sistema GSM.

La arquitectura de la red GSM esta básicamente dividida en tres partes:

- El sistema de conmutación.
- El sistema de estaciones base.
- El sistema de operación y mantenimiento.

Cada uno de los sistemas contiene una serie de unidades funcionales en las cuales se realizan todas las funciones que el sistema GSM es capaz de proporcionar. Las funciones relacionadas con el proceso de llamadas y abonados están implementadas en el sistema de conmutación, mientras que las funciones relacionadas con la radio se concentran en el sistema base; todo ello supervisado por el sistema de operación y mantenimiento.

Al sistema de estaciones base ira conectada con la estación móvil vía interfaz aérea y a través de esta estación, el abonado de la red móvil será capaz de efectuar y recibir llamadas.

Para la gestión de llamadas hacia o desde los abonados de la red fija es necesario que el sistema de conmutación tenga implementadas las interfaces apropiadas de interconexión con toda la variedad de redes existentes: red telefónica básica, red digital de servicios integrados, red de paquetes, etc.

Para la gestión de llamadas hacia o desde otros abonados móviles es necesario que el sistema de conmutación tenga implementada la interfaz hacia otras entidades de la GSM.

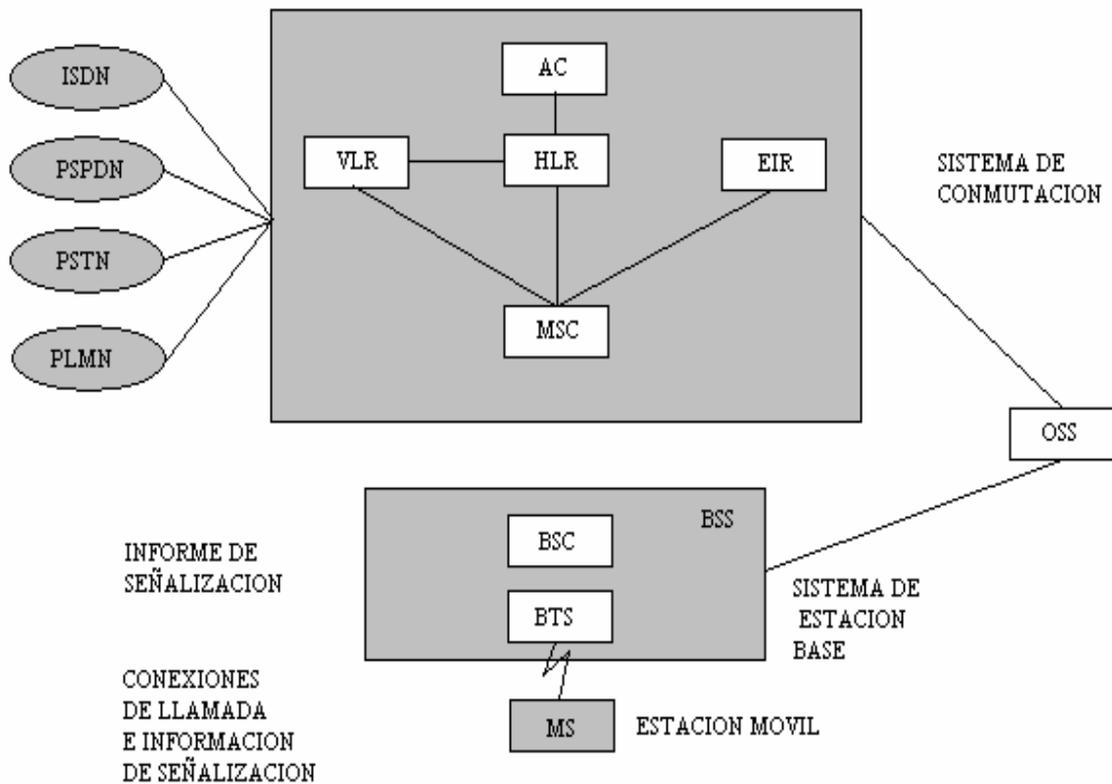


Figura IV.1 Arquitectura del sistema GSM: Agrupaciones funcionales e interfaces.

IV.3.1. SISTEMA DE CONMUTACIÓN (NSS).

El sistema de conmutación realiza las funciones normales en telefonía, como la gestión de llamadas, control de tráfico, análisis de numeración, tarificación y estadísticas de llamadas.

IV3.1.1. HLR (HOME LOCATION REGISTER) – REGISTRO DE POSICIÓN BASE.

Este registro es una base de datos donde se almacenan parámetros de los abonados móviles.

Una red GSM puede tener uno o más HLR (Registro de Posición Base) dependiendo de la capacidad de los equipos y de la organización de la red.

Entre los que se almacenan otros datos como:

- Información de la suscripción.
- Información para el enrutamiento de llamadas hacia la central donde el móvil está localizado.
- Número internacional de la estación móvil IMSI.
- Información sobre teleservicios y servicios portadores.
- Restricciones.



- Servicios suplementarios.
- Tripletas.

La estructura del HRL puede ver en la figura IV .2 y se define como:

- Base de datos. Donde se almacenan datos y tripletas para cada abonado.
- Administración. Gestiona la información hacia o desde los operadores (por ejemplo; altas y bajas de abonados).
- Análisis. Efectúa las traslaciones entre IMSI y MSISDN.
- MAP. Es la parte de aplicación de móviles. Es la parte de usuario que recibe o envía mensajes y toma las decisiones apropiadas. Corresponde a los niveles altos de la OSI (Open System Interconnection- Sistema de Interconexión Abierta).
- CCS-7. Señalización por canal común. Permite, a través de los enlaces y terminales de señalización la transferencia de información hacia o desde MSC/VLR.
- TCAP. Parte de la aplicación de las características transaccionales. Proporciona una interfaz estándar entre los mensajes de señalización (MAP) y la señalización (CCS-7).
- Interfaz hacia el centro de autenticación para pedir tripletas.

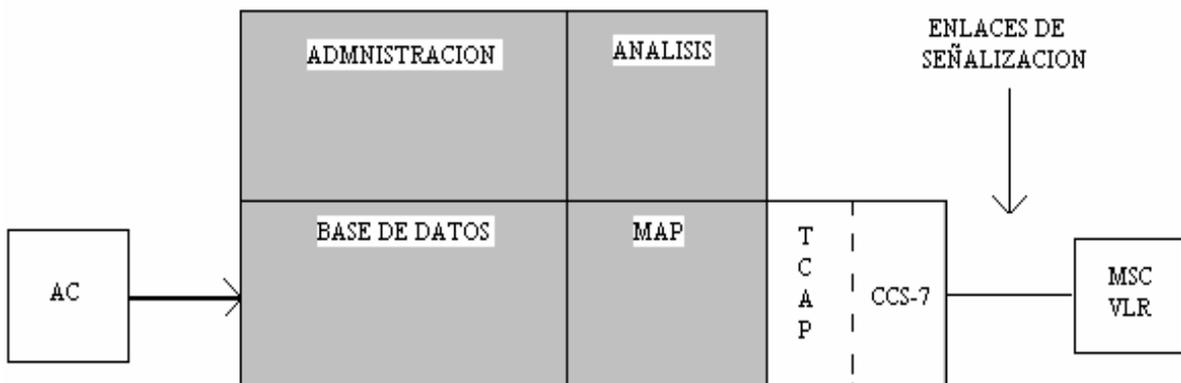


Figura IV.2 Estructura del HRL



IV3.1.2. MSC - CENTRAL DE CONMUTACIÓN DE SERVICIOS MÓVILES.

La central MSC es la interfaz entre la red GSM y las redes públicas de voz y datos. Las funciones mas importantes que realiza son:

- Establecimiento, enrutamiento, control y terminación de llamadas.
- Gestión de “handover” (traspaso de llamadas) entre centrales.
- Gestión de servicios suplementarios.
- Recogida de datos de tarificación y contabilidad.

IV3.1.3. VLR – REGISTRO DE POSICIÓN VISITADO.

Este registro es una base de datos donde se almacenan parámetros de todos los abonados que se encuentran dentro de servicio VRL.

Cuando un abonado cambia de área de servicio, el nuevo VRL debe de actualizar los datos de este abonado y pide a HRL (Registro de Posición Base) todos los datos necesarios para el establecimiento de llamadas hacia o desde el abonado móvil.

Este nodo esta habitualmente integrado en la MSC (MSC/VRL).

Las especificaciones de GSM definen funciones lógicamente separadas e interfaces para cada una de las bases de datos, permitiendo que cada función se pueda alimentar en un componente de red distinto físicamente separado. Ello hace que muchos operadores prefieran ver la VLR como una parte del MSC.

IV.3.2. SISTEMA DE ESTACIÓN BASE (BSS).

El sistema de estación base, fundamentalmente es responsable de las funciones de radio en el sistema GSM: gestión de las comunicaciones de radio, manejo del traspaso de llamadas entre células en el área bajo su control, control del nivel de potencia de señal tanto de las estaciones base como de las estaciones móviles, etc. Incluye las siguientes unidades fundamentales que se mencionaran a continuación.

IV.3.2.1. BSC – CONTROLADOR DE ESTACIONES BASE.

Hace de interfaz entre el sistema de estaciones base y el sistema de conmutación, es decir separa las funciones de radio de las de conmutación. Las principales funciones que realiza son:

- Gestión de los canales de radio.
- Supervisión de las estaciones base.
- Traspaso entre canales de la BSC.
- Gestión de la transmisión hacia las estaciones base.
- Transcodificador y adaptador de velocidades.
- Localización de las estaciones móviles.



IV.3.2.2. BTS – ESTACIONES BASE.

Incluye la interfaz radio y los equipos de transmisión necesarios para cubrir una o varias células. Las funciones más importantes son:

- Codificación y decodificación de los canales.
- Cifrado y descifrado del camino radio.
- Medidas de la intensidad de la señal.
- Diversidad de recepción.
- Búsqueda del MS.
- Recepción de las peticiones de canal desde MS.

IV.3.3. SISTEMA DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO (OSS).

El sistema de operación y mantenimiento, centralizado y remoto, proporciona los medios necesarios para poder llevar a cabo una eficiente gestión de la red tanto de la parte de conmutación como de la radio.

Las principales funciones que realiza son: gestión de la red celular, administración de abonados, gestión de averías y medidas de funcionamiento de la red de conmutación y de radio. Incluye las siguientes unidades fundamentales.

IV.3.3.1. AC – CENTRO DE AUTENTIFICACIÓN.

La misión del AC es generar tripletas para cada abonado. Las tripletas constan de:

- RAND Número aleatorio.
- SRES Respuesta.
- Kc Clave de cifrado.

La tripleta se utiliza para autenticar una llamada y para obtener las claves de cifrado del camino de radio. Cuando un abonado móvil intenta acceder al sistema bien porque quiere hacer o recibir una llamada o porque quiere cambiar de área de localización (cambio de VRL), se arranca de forma automática el proceso de autenticación que se indica en la siguiente figura IV.3.

El MS envía IMSI (número de identificación del abonado dentro de la red móvil) hacia MSC/VLR que tiene almacenadas una serie de tripletas para cada abonado visitante.

MSC/VLR envía RAND hacia MS que, a su vez, calcula SRES y lo envía hacia MSC/VLR que controla si coincide con el control que ya tenía. Después de este control MSC/VLR decide continuar o no la llamada.

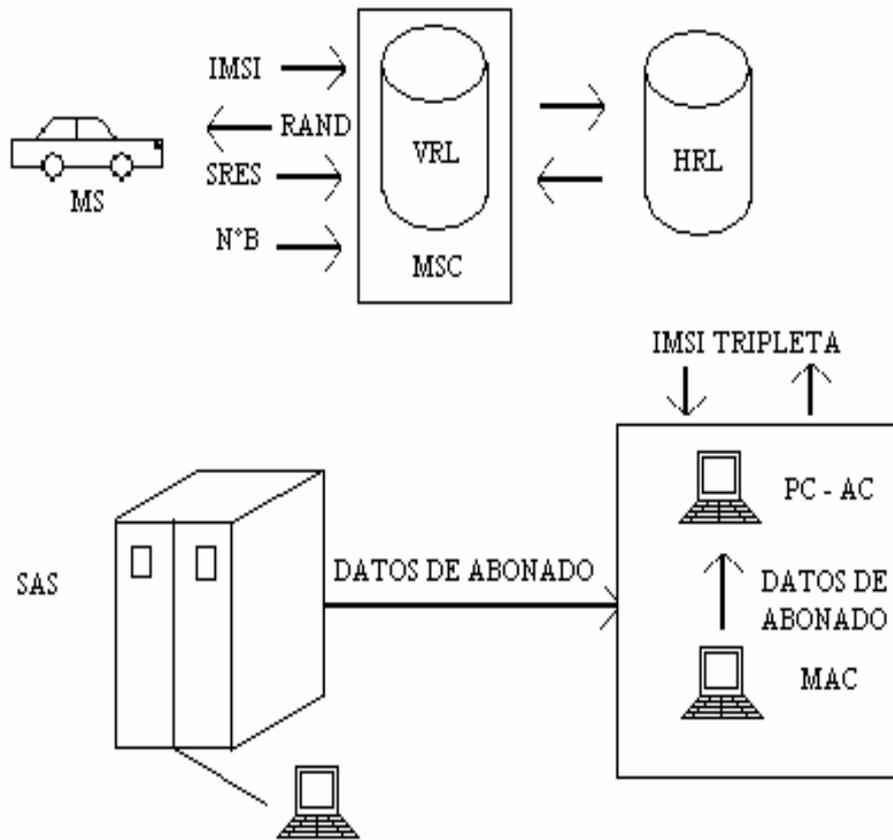


Figura IV.3 AC. Proceso de autenticación

Independientemente de este proceso, MS también calcula la clave de cifrado Kc para cifrar o descifrar el camino radio.

IV.3.3.2. EIR – REGISTRO DE IDENTIFICACIÓN DE ESTACIONES MÓVILES.

Es una base de datos que almacena la identidad internacional del equipo móvil (IMEI). Contiene tres listas: blanca, gris y negra, donde se clasifican datos relativos al equipo móvil (por ejemplo; fabricante, número de serie).



IV.4. INTERFAZ DE RADIO.

IV.4.1. BANDA DE FRECUENCIAS USADO EN GSM.

Es el nombre que se le da a la conexión entre la estación móvil (MS) y la estación base (BTS).

Para el envío de una señal de radio, se utiliza modulación GMSK, con las siguientes bandas de frecuencias.

Se utiliza una estructura de acceso TDMA/FDMA. Se han estandarizado dos bandas de frecuencias, como se muestra en la figura IV.4:

- 890 – 915 MHz para la dirección móvil a estación base (uplink).
- 935 – 960 MHz para la dirección estación base a móvil (downlink).

Estas bandas de frecuencia inferiores y superiores se han dividido en canales de 200 KHz., llamados ARFCN ("Absolute Radio Frequency Channel Number" o Números de Canales de Radio Frecuencia Absolutos). El ARFCN indica un par de canales "uplink" y "downlink" separados por 45 MHz y cada canal es compartido en el tiempo hasta por 8 usuarios usando TDMA.

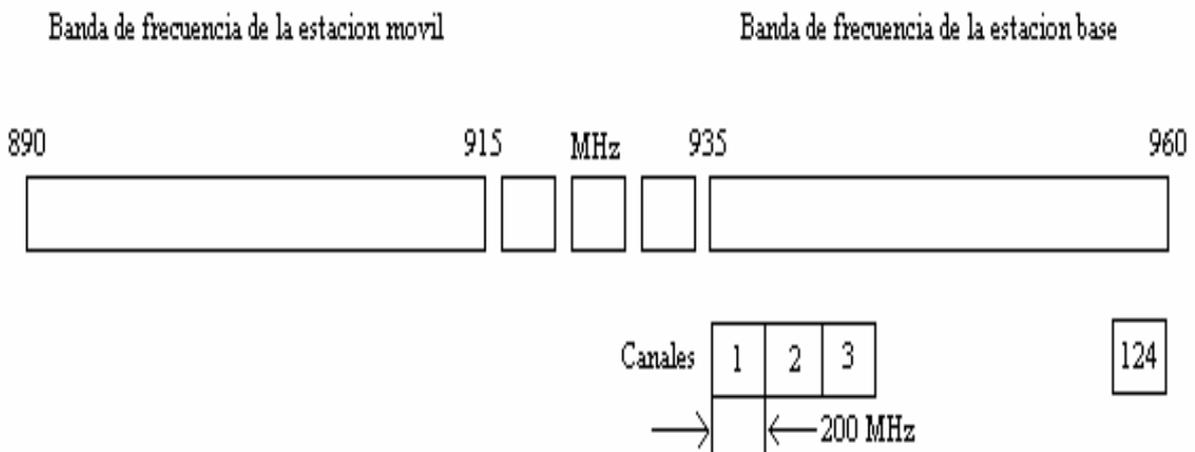


Figura IV.4. Banda de frecuencia usado por GSM

Hasta 8 usuarios pueden compartir el mismo ARFCN y ocupan un sólo Time Slot (TS). Se utiliza una modulación digital GMSK, para transmitir a una velocidad de radio de 270.833 Kbps con BT=0.3. La duración de un bit es de 3.692 ms, y la velocidad efectiva de transmisión de cada usuario es de 33.854 Kbps (270.833 Kbps/8 usuarios). Con el estándar GSM, los datos se envían actualmente a una velocidad máxima de 24.7 Kbps. Cada TS tiene un tamaño equivalente en un canal de radio de 156.25 bits, y una duración de 576.92 µs, y su trama dura 4.615 ms.



Como se tiene una banda de 25 MHz y los canales separados a 200 KHz, se disponen de 125 canales (esto se tiene si no hay ninguna banda de guarda). Debido a que cada canal de radio contiene 8 TS se tiene un total de 1000 canales de tráfico en el sistema GSM.

La combinación de un número de ST y un ARFCN constituyen un canal físico tanto para el "uplink" como para el "downlink". Cada canal físico en un sistema GSM se puede proyectar en diferentes canales lógicos en diferentes tiempos, lo que quiere decir que cada TS de tiempo específico está dedicado a manipular el tráfico de datos (voz, facsímil o teletexto), o señalar datos (desde el MSC, la estación base o la MS).

La recomendación de GSM define una gran variedad de canales lógicos que pueden ser usados para enlazar la capa física con la capa de datos dentro de las capas de la red GSM.

Estos canales lógicos transmiten eficientemente los datos de usuario, a parte de proporcionar el control de la red en cada ARFCN. GSM proporciona asignaciones explícitas de los Time Slots de las tramas para los diferentes canales lógicos.

Todo lo anterior quiere decir que un canal físico es una combinación de Time Slot y la frecuencia de portadora, y un canal lógico se refiere a un flujo de información entre entidades para un propósito particular.

Los canales lógicos son portados dentro de los canales físicos, cada canal físico puede ser convertido a diferentes canales lógicos en tiempos diferentes. Esto quiere decir que un TS o trama puede ser dedicado al manejo de información tráfico (información de usuario tal como la conversación), información de señalización, o información del canal de control (del MSC, BS, MS), tal como aparece en la figura IV.5.

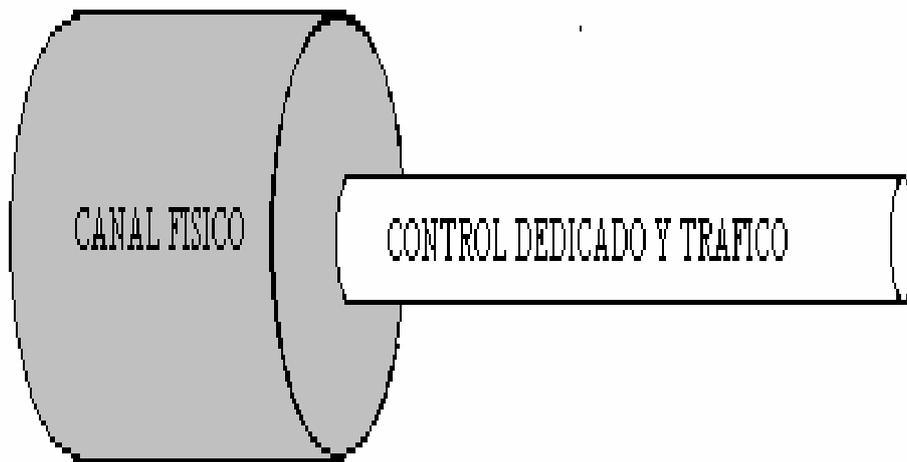


Figura IV.5. Conversión de canales físicos a lógicos



IV.4.2. ESTRUCTURA DEL MÚLTIPLEXAJE DE TIEMPO.

El sistema de acceso utilizado por GSM es TDMA (Acceso Múltiple por División en el Tiempo) por cada portadora de radio. Cada una de las portadoras se ha segmentado en tiempo, de acuerdo a un esquema de (TDMA), en 8 intervalos de tiempo de duración de 0.557 ms/intervalo. Los intervalos de tiempo se numeran del 0 al 7 en la trama, cuya duración es de 4.615 ms.

Esta misma estructura se emplea en los enlaces ascendente y descendente, pero con un desplazamiento de 2 intervalos, para que un móvil que utilice un canal físico concreto transmita y reciba en instantes de tiempo diferentes. De esta manera se puede evitar el duplexor de antena. Además el móvil monitoriza la señal enviada desde células adyacentes para, en su caso, solicitar un cambio de célula. Ver figura IV.6:

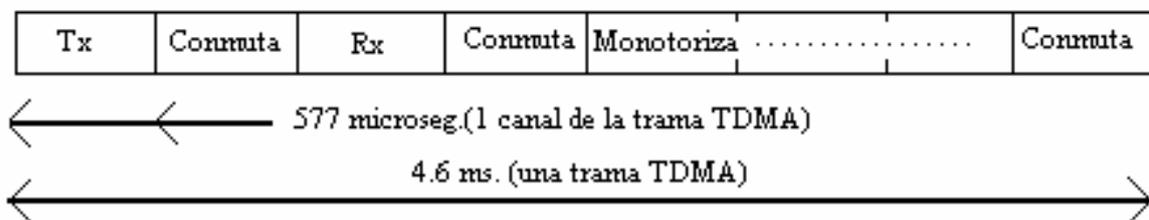


Figura IV.6 Relación temporal entre los canales de transmisión, recepción y monitorización para un móvil cualquiera en un sistema GSM

Cada trama consta de 8 intervalos de TS y cada uno de ellos se conoce como canal físico, por el que se transmite una ráfaga o “burst” de información, cuando llega el intervalo de tiempo correspondiente, de 148 bits, a más de 8.25 bits de guarda, para permitir pequeños desplazamientos de tiempo dentro del intervalo. La velocidad máxima de transmisión es de $156.25 \text{ bits}/0.557 \text{ ms} = 270.833 \text{ Kbits/s}$ (estos valores numéricos son aproximados puesto que en la recomendación GSM los tiempos se van tomando como referencia una multitrama).

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

La recomendación define 5 tipos de ráfagas como muestra la figura IV.7: ráfaga normal, ráfaga de corrección de frecuencia, ráfaga de sincronización, ráfaga muda (dummy) y ráfaga de acceso.

- Ráfaga normal. Se utiliza para transmitir mensajes en los canales de tráfico y control. Consta de 26 bits de secuencia de entrenamiento, 1 bit de banderas de robo, para indicar que el FACCH ha robado 57 bits temporalmente, bits de cola (000 siempre), período de guarda 8.25 bits de duración.
- Ráfaga de corrección de frecuencia. Se manda de la estación base y es usada para la corrección de frecuencia en la estación móvil para prevenir posibles interferencias de frecuencias adyacentes. Consta de 142 bits de corrección de frecuencia, bits de cola, período de guarda de 8.25 bits de duración.



- Ráfaga de sincronización. Se manda de la estación base y es usada para la sincronización de la trama móvil. Consta de dos bloques de 39 bits para la información de estructura de la trama TDMA, 64 bits de sincronización, bits de cola, período de guarda de 8.25 bits de duración.
- Ráfaga muda (dummy). También se le llama ráfaga de vacío, porque tiene la misma estructura que la ráfaga normal pero no transmite datos. Se utiliza para el envío de señal de continuidad. Consiste en secuencias de entrenamiento mezclados con patrones de bits.
- Ráfaga de acceso. Esta ráfaga sirve para acceder a handover. Esta ráfaga es más corta que las demás porque no requiere ser completamente sincronizada la estación móvil con la estación base. Consta de 41 bits de sincronización, 36 bits de información de acceso, bits de cola, período de guarda de 68.25 bits de duración.

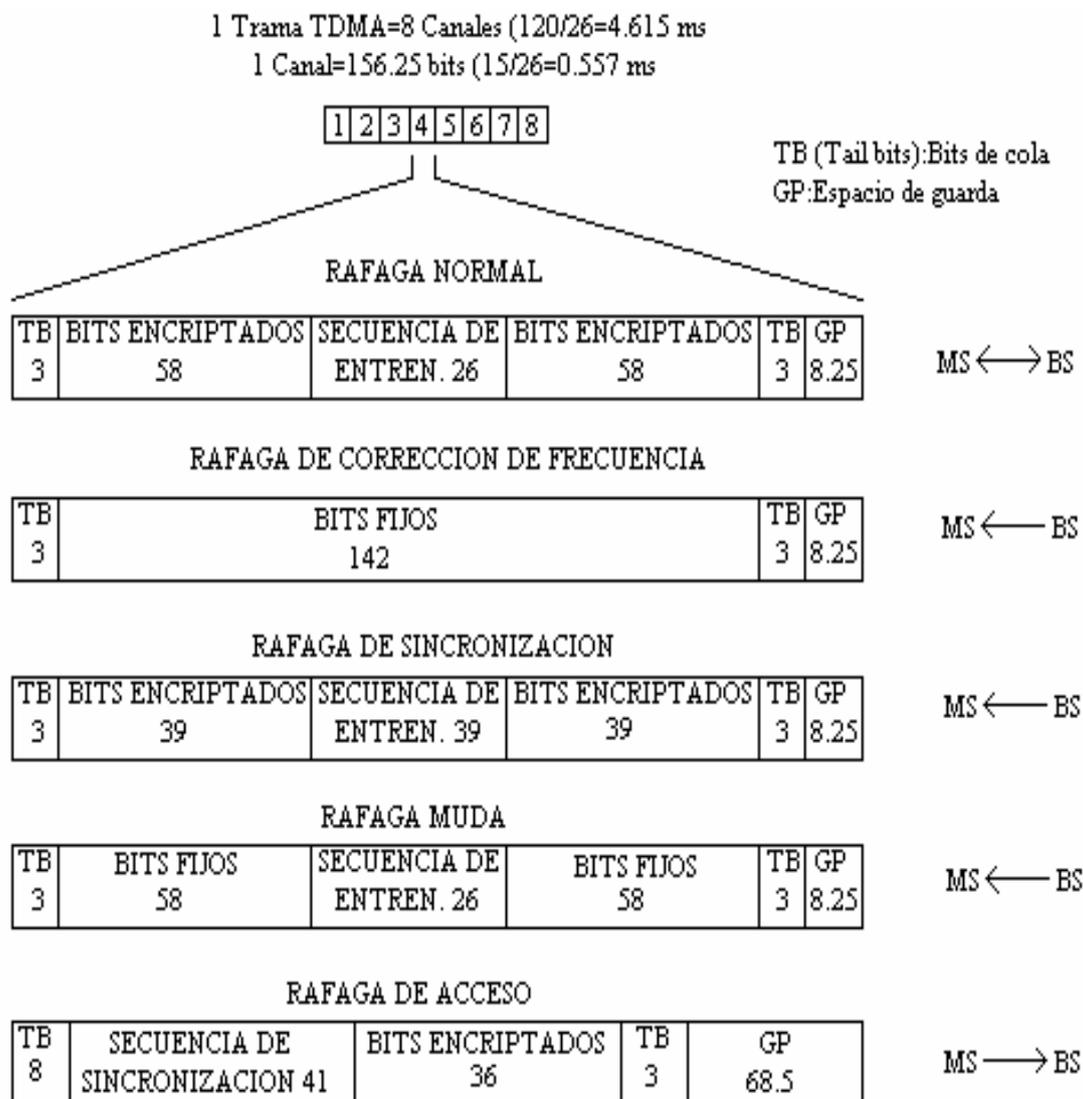


Figura IV.7 Descripción de los distintos tipos de ráfagas en un sistema GSM.



Descripción de los bits de la ráfaga normal (ráfaga de abonado):

- 3 + 3 bits de cabecera-cola (Tail Bits). Tienen por objeto lograr la ecualización de todos los bits por igual.
- 2 x 57 + 2 bits de información (bits encriptados). De ellos 2 x 57 son información y otros dos indican si la ráfaga es de tráfico de abonado o de señalización por robo de intervalo.
- 26 bits que constituyen la secuencia de entrenamiento. Esta es una secuencia conocida de bits que permite al receptor adquirir la sincronización y analizar las condiciones del canal con objeto de ajustar el ecualizador.

Las ráfagas modulan la portadora asignada, con modulación GMSK (Gaussian Minimum Shift Keying).

IV.4.3. MODULACIÓN GMSK UTILIZADA PARA GSM.

En GSM se ocupa la modulación con la técnica 0.3 GMSK, el 0.3 indica el ancho de banda del filtro Gaussiano con relación al bit rate de la señal. GMSK es un tipo especial de modulación en FM. Los unos y los ceros binarios se representan en GSM por desplazamientos en frecuencia de ± 67.708 Khz. La velocidad de datos en GSM es de 270.83 Kbps, que es exactamente cuatro veces el desplazamiento de frecuencia. Esto minimiza el ancho de banda ocupado por el espectro y por lo tanto mejora la capacidad del canal. La señal MSK modulada se pasa a través de un filtro Gaussiano para atenuar las variaciones rápidas de frecuencia, para que no se esparza energía en los canales adyacentes.

IV.4.4. CANALES FÍSICOS Y CANALES LÓGICOS.

Un canal físico se forma mediante la repetición periódica de un intervalo de tiempo. El flujo binario que se transfiere de un canal físico se puede a su vez compartir por varios canales lógicos, esto es, una multiplexación de canales lógicos sobre los físicos.

En GSM se definen dos tipos de canales lógicos: los de tráfico de abonado y los de señalización y control.

Los canales lógicos se pueden separar en dos categorías: los canales de tráfico (Traffic Channels, TCHs) y los canales de control (Control Channels, CCHs).

Los TCHs llevan voz codificada digitalmente o datos y tienen funciones idénticas y formatos tanto para el "downlink" como para el "uplink". Los canales de control llevan comandos de señalización y control entre la estación base y la estación móvil.

Dentro de los TCHs se tiene 6 diferentes tipos y para los CCHs se tienen una gran cantidad.



IV.4.4.1. CANALES DE TRÁFICO.

Los canales de tráfico se definen de dos tipos, uno de velocidad máxima y otro de velocidad mitad. Un TCH de velocidad máxima permite la transmisión de voz codificada a 13 Kbit/s o de datos a 3.6, 6 ó 9.6 Kbit/s. Un TCH de velocidad mitad, permite transportar voz codificada a 6.5 Kbit/s y datos a 2.4 y 4.8 Kbit/s. Estas velocidades son las velocidades de información útil, el resto es la información de control que se tiene que incluir (el total de la velocidad es de 22.8 Kbit/s).

Multitrama de 26 tramas.

Para soportar los canales lógicos se definen dos estructuras de multitrama una de 26 tramas (con una duración de 120 ms) para los canales de tráfico y otra de 51 tramas (con una duración de 235.38 ms) para canales de señalización y control, éstas cuentan con una jerarquización las cuáles se definen en la figura IV. 8.

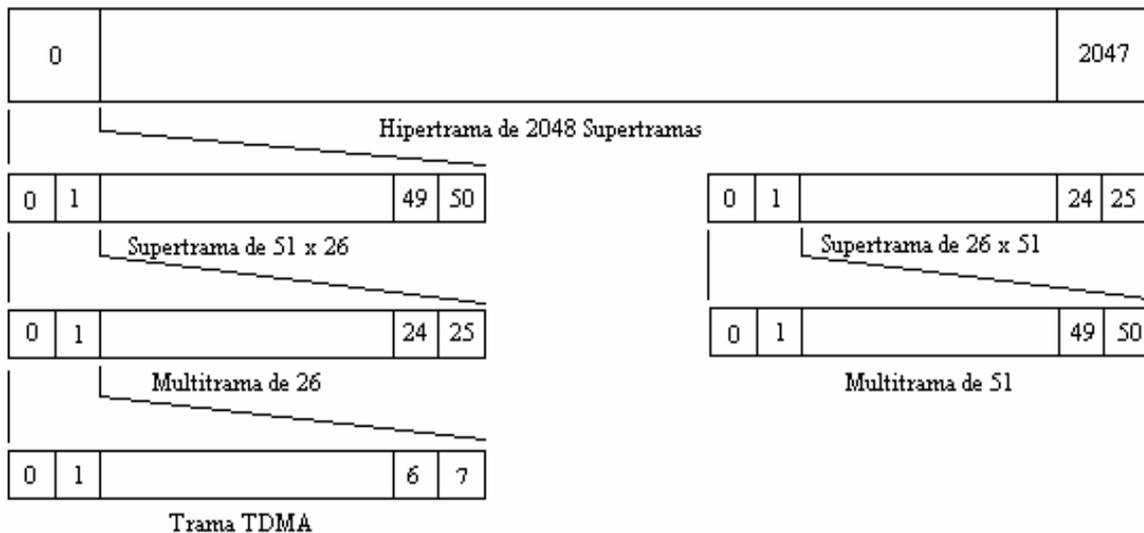


Figura IV.8. Jerarquía de tramas en un sistema GSM.

La estructura de 26 tramas (figura IV.9), soporta canales de tráfico (TCH) y sus correspondientes canales asociados de control, que pueden ser lentos (Show Associated Control Channel, SACCH) o rápidos (Fast Associated Control Channel, FACCH).

Cuando se transmite a velocidad máxima, los datos están contenidos en un TS por trama.

Cuando se transmite a velocidad mitad, los datos de usuario se transportan en el mismo TS, pero se envían en tramas alternativas. En GSM, los datos TCH no se pueden enviar en el TS0 ("Time Slot 0") sobre ciertos ARFCN's ya que este TS está reservado para los canales de control en la mayoría de las tramas.

Los TCH de velocidad máxima se implementan sobre 24 de las 26 tramas de la multitrama, donde cada TCH ocupa el mismo TS en cada trama. La trama 12 (numeradas desde la 0), se dedica a los canales SACCH, obteniéndose 8 canales SACCH, uno para cada uno de los 8 TCH's. Los canales SACCH llevan la señalización



correspondiente a la información, como ajuste de potencia, medidas de calidad de canal, información de tarificación, etc. La trama 25 esta reservada para implementar los 8 SACCH adicionales requeridos para soportar los 8 canales TCH adicionales de velocidad mitad.

El canal lógico FACCH se obtiene bajo demanda, mediante el robo de intervalos a un TCH.

Se utiliza el envío de mensajes urgentes como son los relativos al control del “handover” entre células. El robo de un intervalo se indica mediante los flags (banderas).

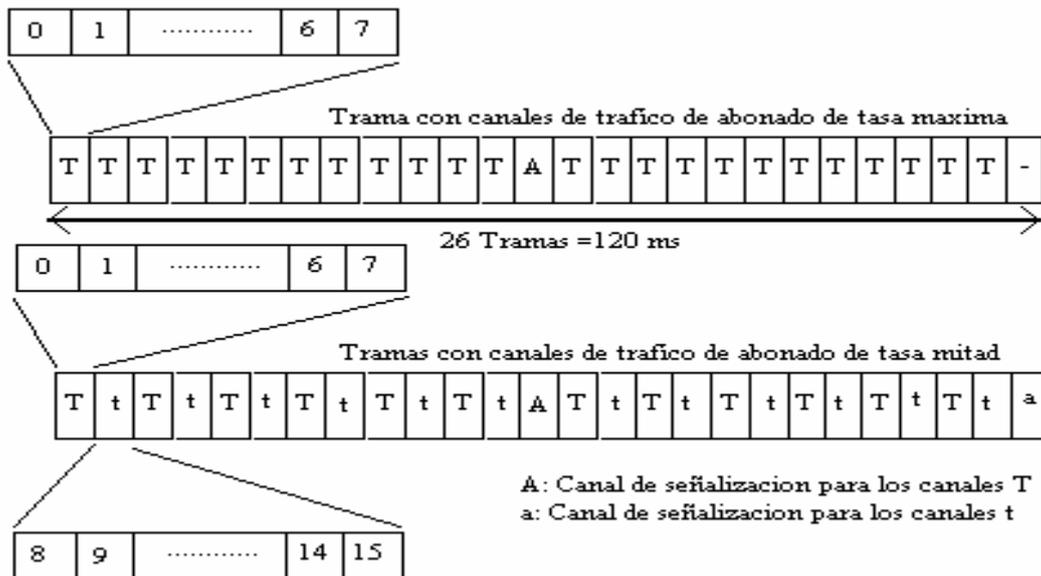


Figura IV.9. Estructura de la multitrama de 26 tramas que soporta el tráfico de abonado.

Multitrama de 51 tramas

Soporta los canales de señalización y control de tipo general como son el inicio/final de la llamada, identificación y actualización del móvil, etc.

Los canales lógicos con los que se disponen son:

1.-SDCCH (*Stand-alone Dedicated Control Channel*)(*Canal Dedicado Independiente del control*). Se utiliza para transferencia de señalización de control de la llamada desde y hacia el móvil durante el establecimiento de la llamada. Como los canales TCH, el SDCCH tiene asociado su propio SACCH y se libera cuando la llamada ha sido establecida.

2.-BCCH (*Broadcast control Channel*) (*Canal del Control de Difusión*). Se utiliza en la dirección base (BS) a móvil para la difusión de información a nivel de sistema como puede ser; parámetros de sincronización, servicios disponibles e identificador de célula. Este canal esta activo de forma permanente, enviando ráfagas mudas cuando no hay información que transmitir, pues los niveles monitorizan el nivel de señal recibida de este canal para la determinación del handover.



3.-SCH (*Synchronization Channel*)(*Canal de Sincronización*). Se utiliza para difundir información desde la BS al móvil, de sincronización de trama.

4.-FCCH (*Frequency Control Channel*)(*Canal de Control de Frecuencia*). Se utiliza para enviar información desde la BS al móvil, de sincronización de portadora.

5.-CCCH (*Common Control Channel*)(*Canal Común de Control*)Son un conjunto de canales lógicos que se utilizan para transmitir información de señalización entre todos los móviles y la BS, por ejemplo cuando se realiza una llamada o se recibe una búsqueda mediante llamada. Hay tres canales de control comunes:

- PCH: La utiliza el sistema para realizar la búsqueda de los móviles.
- RACH: Lo utilizan los móviles que tratan de comunicarse con el sistema. Se utiliza un protocolo de acceso denominado ALOHA RANURADO para solicitar la adjudicación de un canal SDCCH con el que poder iniciar el establecimiento de una llamada.
- AGCH. Lo utiliza el sistema para asignar recursos a los móviles como puede ser un SDCCH.

PCH y AGCH nunca son usados por el sistema en el mismo instante y por lo tanto pueden ser implementados sobre el mismo canal lógico.

Todos los canales lógicos descritos, excepto el SDCCH, se implementan sobre el intervalo de las tramas que forman la multitrama (de 51 tramas). Para ello se utiliza una frecuencia dedicada exclusivamente a tareas de control y que se asignan de forma individual a cada célula.

El SDCCH y su canal SACCH se implementa sobre un canal físico seleccionado por el operador. Dependiendo de las necesidades y criterio del operador, con los canales de señalización y control, se pueden crear tres estructuras alternativas de Multiplexación de canales lógicos como:

1. Un canal de difusión (BCCH) y un canal común (CCCH).
2. Ocho canales dedicados independientes (SDCCH's).
3. Cuatro canales de control SDCCH, un BCCH y un CCCH.

Deslizamiento de la Multitrama de 51 Tramas sobre la de 26 Tramas.

Los canales de transmisión y recepción están en el tiempo de manera que el receptor dispone de cierto tiempo para sincronizarse a la nueva frecuencia. Para permitir esto todos los terminales móviles pueden monitorizar los canales de control, la multitrama de 51 tramas se desliza en el tiempo respecto al la multitrama de 26 tramas tal como se muestra en la figura IV.10:

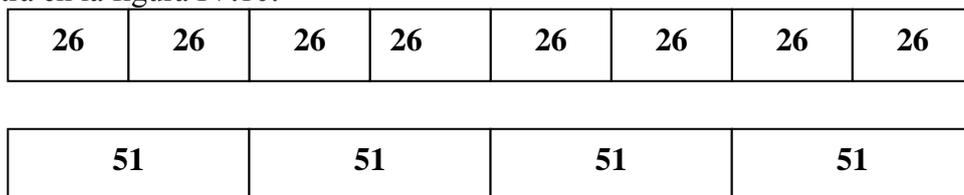


Figura IV.10.



IV.5. CODIFICACIÓN DE LA INFORMACIÓN.

El medio de transmisión de radio que se usa para las comunicaciones móviles está sujeto a una gran variedad de interferencias. Las señales que interfieren son principalmente de tipo ráfaga y proceden de frecuencias de fuentes externas al sistema o bien de interferencias internas provocadas por la reutilización de frecuencias o la propagación multicamino. Para conseguir una tasa de error aceptable (superior a 10^{-2} para voz) se usan diferentes técnicas de codificación en el transmisor.

IV.5.1. CODIFICACIÓN DE FUENTE.

Comprende las operaciones necesarias para transformar una señal analógica en otra digital de velocidad relativamente baja. Esta se ocupa para las comunicaciones móviles en la codificación de la voz.

Sus algoritmos pueden clasificarse en tres categorías:

- Codificadores de forma de onda. En estos se transmite la información sobre la forma de la señal. Dentro de estos se pueden nombrar las técnicas PCM (Modulación por Codificación de Impulsos), la DM (Modulación Delta).
- Codificadores paramétricos. Hacen uso de la estacionariedad a corto plazo de la voz, para extraer y transmitir parámetros de un modelo matemático de la generación y percepción del habla. Los codificadores paramétricos también llamados “vocoders”, pueden funcionar con velocidades binarias muy reducidas del orden de 2 a 4 Kbit/s, pero la calidad que ofrece es mediocre y requieren un elevado grado de protección contra errores.
- Codificadores mixtos. Para estos se tienen los de la familia RELP (Residual Excited Linear Prediction). Estos son los que se han normalizado para el uso en GSM, con una velocidad de 13 Kbit/s.

IV.5.2. CODIFICACIÓN DE CANAL.

La codificación de canal tiene por objeto proteger la información digital (voz, datos, señalización) contra los errores producidos por las anomalías y perturbaciones de la transmisión. Para ello se añade información redundante, lo cual requiere un aumento del ancho de banda.



Las estructuras de codificación de canal pueden ser:

- Código de bloque. En este caso, la información se codifica en paquetes de k bits. A cada grupo de k bits se le hace corresponder de forma unívoca la palabra-código de n bits.
- Código convolucional. Aquí los bits de redundancia se van generando a medida que entra cada bit de información al codificador. La mayoría de estos códigos tienen un rendimiento igual a $1/2$, es decir, cada bit de información genera un bit de redundancia directamente. Interviene además con otros en la producción de p bits, siendo p una característica del código llamada longitud obligada del código.

Los códigos convolucionales producen un tren continuo de bits y tienen un gran poder corrector. Existe un método potente para ellos de descodificación, el algoritmo Viterbi, que efectúa la descodificación mediante la selección de la palabra-código más probable del conjunto de las posibles, de acuerdo a una métrica.

En la práctica, la codificación de canal hace uso de ambas estructuras, utilizándose un código externo de tipo bloque, con gran capacidad de detección de errores, y otro código interno superpuesto al anterior, de tipo convolucional para la corrección de errores. Con objeto de minimizar la redundancia, se aprovecha la propiedad de que en el tren producido por el codec vocal hay bits mucho más sensibles que otros, por lo que son objeto de un mayor grado de protección que los menos significativos.

Los bits de la palabra-código de canal no deben transmitirse de forma consecutiva, ya que una ráfaga de errores en el canal afectara a toda la palabra, destruyendo las propiedades correctoras del código. Para esto, es necesario distribuir el efecto de la ráfaga entre palabras-código diferentes. Para ello se utiliza una técnica denominada ENTRELAZADO de bits, mediante los m bits de la palabra-código de canal se transmiten separados entre sí, entrelazándolos con bits de otras palabras para aleatorizar el efecto de los errores de transmisión por el canal.

IV.6. GESTIÓN DE LOS RECURSOS DE RADIO.

Un terminal equipado con una tarjeta SIM, cuando se pone en funcionamiento, explora los canales de radio para encontrar el canal lógico de sincronismo y así sincronizarse. Se queda entonces en modo semi-activo, esperando a ser llamado mediante el canal de búsqueda, una petición para acceder a la red enviando un mensaje en el canal de acceso aleatorio. El proceso de búsqueda es tal que permite estar en modo semi-activo (stand by) para ahorrar energía.

Las recomendaciones de GSM son flexibles a la hora de definir una estrategia de asignación en tiempo real de canales comunes y dedicados. El conjunto de canales dedicados puede escogerse dinámicamente utilizando colas, asignación por partes o prioridad para los canales de mejor calidad.



La petición de acceso procedente de un terminal por medio del canal de acceso aleatorio debe de controlarse para evitar situaciones de bloqueo. Entre los medios disponibles el medio más eficiente es el que usa el número de la Clase de Acceso. En la tarjeta SIM de cada abonado se almacena un número aleatorio del 1 al 10. Si se produce una saturación, la BS puede restringir, a través del canal de difusión, el acceso a cualquier clase de abonados. Para abonados de alta prioridad (como servicios de seguridad, emergencia, personal de campo, etc.) se reservan números de clases especiales (del 11 al 15).

IV.6.1. HANDOVER EN GSM.

En GSM el concepto de handover se ha extendido a ámbito de intra-células, esto implica que se pueden seleccionar distintos canales incluso en la misma célula.

Antes de tomar la decisión de realizar un handover, el controlador de la estación base acumula información sobre el tráfico y sobre la situación de enlace de radio, como la calidad (tasa de errores), la potencia transmitida, el nivel de señal recibido y la desviación de tiempo. Tanto la BS como los terminales realizan medidas de calidad. Aprovechando la estructura TDMA, el terminal mide parámetros de la señal que recibe de las células vecinas (a petición de la BS).

Los algoritmos para la decisión del handover se implementan en la BS, pero no están especificados en las recomendaciones GSM. Así cada fabricante es libre de diseñar un algoritmo exclusivo, esto es especialmente decisivo en entornos de alta densidad de tráfico con células pequeñas.

IV.6.2. CONTROL DE POTENCIA.

Las dos direcciones del enlace radio entre terminal y la BS están sujetas a ajustes de potencia continuos, de hecho cada 60 ms en un margen de 26 dB.

Este ajuste de potencia tanto del transceptor de la BS como del terminal se realizan bajo la supervisión del sistema de control de la BS. Esto mejora el aprovechamiento del espectro al limitar las interfaces dentro del sistema y ahorra batería.

IV.6.3. CONTROL DE LA DESVIACIÓN EN TIEMPO.

Como los terminales que se encuentran dentro de una misma célula se encuentran a distancias distintas de la BS (diferentes retardos de propagación), las ráfagas que están reciben tienen diferentes retardos. La dispersión en tiempo hace necesario un tiempo de guarda grande entre ráfagas, lo que da lugar a un bajo aprovechamiento del ancho de banda.

Para minimizar este efecto, el interfaz aire hace un ajuste de tiempo en el terminal. Este cubre un margen de 233 μ s, que permite la corrección de células para un radio máximo de 35 Km.

La BS monitoriza la desviación en tiempo de cada terminal y lo utiliza como un criterio para realizar el handover y también para ayudarle a corregir su desviación antes de llevar a cabo un handover sincronizado.



Capítulo V:

UMTS (SISTEMA UNIVERSAL DE TELECOMUNICACION MOVIL)



V. UMTS (SISTEMA UNIVERSAL DE TELECOMUNICACIÓN MÓVIL)

V.1. INTRODUCCIÓN A LA TERCERA GENERACIÓN (3G).

El notable éxito alcanzado por los denominados sistemas móviles de Segunda Generación (2G), así como la pretensión de ofertar nuevos servicios de telecomunicaciones con requerimientos de alta velocidad y calidad muy superiores a los obtenidos en los sistemas 2G, como por ejemplo el acceso móvil a internet, condujo al desarrollo e implantación de los denominados sistemas 2.5G, que finalmente no significó una solución a dicha demanda.

Para dar solución a tales demandas, con calidad similar a la que ofrecen las redes fijas y con una perspectiva global en el marco de los sistemas de comunicaciones móviles, surgen los denominados sistemas de comunicaciones móviles de Tercera Generación (3G).

Los requisitos que se impusieron a los sistemas 3G requirieron de cambios sustanciales en relación con sus antecesores, los sistemas 2G y 2.5G. En este sentido los sistemas 3G llevan a cambios importantes en el interfaz radio y en la arquitectura de red. Así por ejemplo, en aras de poder utilizar más eficientemente y con mayor flexibilidad el tan escaso recurso radio, los sistemas 3G utilizan técnicas de espectro ensanchado.

Igualmente, la arquitectura y protocolos de la red de acceso han tenido que ser reconsiderados en relación con sus antecesores los sistemas 2G y 2.5G.

Los sistemas de 3G son esperados para completar el proceso de globalización para la comunicación móvil. De alguna forma el éxito de 3G principalmente se basará en soluciones técnicas del GSM debido a que la tecnología GSM domina el mercado y las grandes inversiones en GSM, deben ser utilizadas tal como sea posible. Basado en esto los grupos de especificación crearon una visión acerca de cómo la comunicación móvil debería ser desarrollada. A través de esto, algunos requerimientos para GSM son los siguientes:

- El sistema debe de ser totalmente específico (como GSM) y las principales interfases deben ser estandarizadas y abiertas, es decir, las especificaciones generadas deben ser globales.
- El sistema debe agregar valor al GSM en todos los aspectos. Sin embargo, al principio el sistema debe de ser compatible mínimo con GSM e ISDN (Red Integral de Servicios Digitales).
- El sistema debe de ser capaz de soportar aplicaciones de multimedia y todas sus aplicaciones.
- El acceso de radio de 3G debe proveer capacidad de banda ancha para llegar a estar disponible en todo el mundo.
- Los servicios para los usuarios finales debe ser independiente de la tecnología de acceso de radio y de la infraestructura de la red que no debe limitar los servicios para ser generados.



Enseguida se hace un resumen de las principales características de los distintos sistemas de 3G que se dieron alrededor del mundo.

Esta familia de normas incluye EDGE, CDMA2000 y UMTS / WCDMA. Esas normas diferentes dieron lugar a las distintas normas móviles y bandas de frecuencia en uso en la actualidad.

EDGE

EDGE es un estándar 3G aprobado por la ITU, y está respaldado por el Instituto Europeo de Estándares de Telecomunicaciones (ETSI). EDGE se puede desplegar en múltiples bandas del espectro y complementa a UMTS (WCDMA).

Además se puede desplegar en las bandas de frecuencia 800, 900, 1800 y 1900 MHz actuales y puede servir como la vía a la tecnología UMTS (WCDMA).

Es una solución 3G diseñada específicamente para integrarse al espectro existente, permitiendo así a que los operarios ofrezcan nuevos servicios de 3G con licencias de frecuencia existente al desarrollar la infraestructura inalámbrica actual.

Los operarios de TDMA pueden escoger desplegar una combinación de GSM, GPRS, EDGE y UMTS (WCDMA) en varias bandas dependiendo de la segmentación específica de sus clientes y las estrategias del espectro. EDGE ofrece servicios de Internet Móvil con una velocidad en la transmisión de datos a tres veces superior a la de GPRS. El equipo de EDGE también opera automáticamente en modo de GSM.

EDGE será importante para los operarios con redes de GSM o GPRS que se desarrollarán en UMTS; mejorar la infraestructura de GSM con EDGE es una manera eficiente de lograr una cobertura de 3G complementaria en la red consistente al volver a emplear lo invertido en la tecnología de 2G.

La estrategia de EDGE consiste en:

- Incrementar las tasas de bit de GSM.
- Introducir un nuevo esquema de modulación y codificación de canal.
- Re-usar todo lo que sea posible de la capa física de GSM.
- Existen dos modalidades: EDGE GPRS (EGPRS) y EDGE Circuit Switched Data (ECSD).
- Usa codificación de canal adaptativa y modulación (GMSK y 8-PSK).
- Soporta tasas de bits hasta 384 Kbps usando hasta 8 ranuras GSM.
- Emplea redundancia incremental a fin de mejorar la eficiencia en el uso del canal apropiado para aplicaciones con requerimientos de retardo relajados.



CDMA2000

En CDMA2000 su implementación se ha dividido en dos fases evolutivas.

- CDMA2000 Fase I: Las capacidades de la primera fase se han definido en una norma conocida como 1XRTT. La publicación de la 1XRTT se hizo en el primer trimestre de 1999. Esta norma introduce datos en paquetes a 144 Kbps en un entorno móvil y a mayor velocidad en un entorno fijo. Las características disponibles con 1XRTT representan un incremento doble, tanto en la capacidad para voz como en el tiempo de operación en espera, así como una capacidad de datos de más de 300 Kbps y servicios avanzados de datos en paquetes. Adicionalmente extiende considerablemente la duración de la pila y contiene una tecnología mejorada en el modo inactivo. Se ofrecerán todas estas capacidades en un canal existente de 1.25 MHz de CDMAOne.
- CDMA2000 Fase II: La evolución de CDMAOne, hasta llegar a las capacidades completas de CDMA2000, continuará en la segunda fase e incorporará las capacidades de 1XRTT, usará tres portadoras de 1,25 MHz en un sistema multiportadora para prestar servicios de banda ancha de 3G. CDMA 3XRTT proporcionará velocidad de circuitos y datos en paquete de hasta 2 Mbps, incorporará capacidades avanzadas de multimedia e incluirá una estructura para los servicios de voz y codificadores de voz 3G, entre los que figuran los datos de paquetes de "voice over" y de circuitos.

CDMA2000 1XEV:

Basado en el estándar 1X, el sistema 1XEV mejora la velocidad de procesamiento de datos, obteniendo velocidades máximas de 2 Mbits/seg., sin tener que utilizar más de 1,25 MHz del espectro. Los requisitos para los operadores recién establecidos con respecto a 1XEV establecen dos fases. En la primera *CDMA2000 1XEV-DO* usa un transportista separado de 1.25 MHz para datos y ofrece velocidades de datos en punta de 2.4 Mbps. La fase 2, *CDMA2000 1X EV-DV* se centra en las funciones de datos y de voz en tiempo real, así como en la mejora del funcionamiento para mayor eficiencia en voz y en datos.

UMTS / WCDMA

Entre todas las tecnologías consideradas para la interfaz de aire de UMTS, ETSI eligió en enero de 1998 la nueva tecnología WCDMA (Acceso Múltiple por División de Código de Banda Ancha), en operación FDD (Frequency Division Duplex) espectro pareado, aunque también se ha tenido en cuenta la TD/CDMA en operación TDD (Time Division Duplex) espectro no pareado para uso en recintos cerrados, lo que constituye la solución llamada UTRA. WCDMA es una técnica de acceso múltiple por división de código que emplea canales de radio con un ancho de banda de 5 MHz.

El esquema de acceso UTRA se constituye de la siguiente forma:

- UTRA FDD: Esquema de acceso múltiple: W-CDMA. Modulación BPSK en UL y QPSK en DL.
- UTRA TDD: Esquema de acceso múltiple: Híbrido W-CDMA + TDMA. Modulación QPSK.



La tecnología de radio Acceso Múltiple por División de Código de Banda Ancha (WCDMA) está optimizada para permitir servicios de multimedia de velocidades muy altas como video, acceso a internet de alta velocidad y videoconferencia. WCDMA brindará un ancho de banda para el usuario de hasta 8Mbit/s.

En todo el mundo el termino 3G es denominado de diferentes formas como por ejemplo, en Europa 3G a llegado a ser llamado UMTS (Sistema Universal de Telecomunicaciones Móviles) siguiendo la perspectiva del Instituto Europeo de Estándares de Telecomunicaciones (ETSI), en Japón y EUA el sistema 3G es frecuentemente llamado como IMT-2000 (Telefonía Móvil Internacional 2000). Este nombre viene de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT).

Cabe mencionar que en el presente trabajo sólo se abordara la tecnología UMTS.



Figura V.1

Al comienzo UMTS heredo los elementos y principios funcionales de GSM y gran parte de los nuevos desarrollos, es relacionado a la parte de acceso de radio a la red.

UMTS se basa en una tecnología de acceso de radio llamada Banda Ancha. El acceso de radio de Banda Ancha esta implementada con la tecnología de Acceso Múltiple por División de Código de Banda Ancha (WCDMA). WCDMA es una evolución del CDMA, el cual ha sido usado para propósitos militares y para redes celulares de banda ancha principalmente en EUA. En la figura V.1 se muestran los servicios con los que contara la nueva tecnología UMTS.

V.1.1 ESTANDARIZACIÓN DEL UMTS.

La estandarización del UMTS fue precedida por varios proyectos de investigación fundados y financiados por los Estados Unidos. Durante los años de 1995-1998 las actividades de investigación estuvieron a cargo del proyecto ACTS FRAMES. Éste tiempo se ocupo para seleccionar y desarrollar una tecnología de acceso múltiple adecuada, considerando principalmente el TDMA contra el CDMA. Los grandes fabricantes Europeos prefirieron el TDMA por que fue usado en GSM. Mientras que la tecnología CDMA fue adoptada por EUA.



En Europa y Japón había una demanda urgente para las frecuencias de radio adicionales para servicio de voz. Las bandas de frecuencia identificadas por la UIT en 1992, para el futuro del sistema 3G llamado IMT-2000 llegó a ser la solución principal. Pero a principios de 1998 una mayor presión fue resuelta cuando la ETSI TCSMG decidió seleccionar WCDMA como su tecnología de radio, durante este mismo año el organismo Europeo ETSI y los organismos Japoneses TTC y ARIB estuvieron de acuerdo para hacer un estándar común UMTS. Después de este acuerdo, la organización 3GPP Third Generation Partnership Project (Proyecto de Alianza para la Tercera Generación), fue establecida y la estandarizada de UMTS fue comenzada en todo el mundo. Como se muestra en la figura V.2.

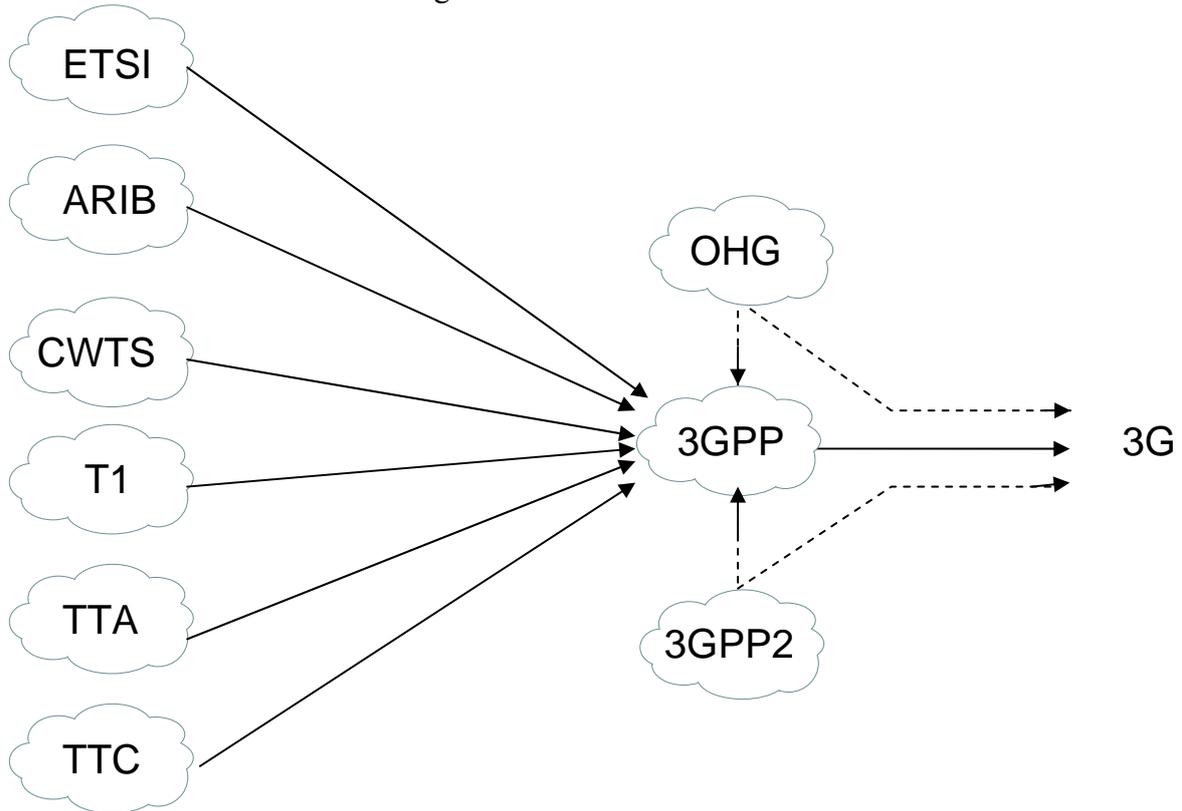


Figura V.2

Después surgió una organización independiente llamada OHG que fue establecida poco después de 3GPP.

La principal tarea de 3GPP es definir y mantener las especificaciones para UMTS mientras que OHG busca soluciones que 3GPP no puede resolver. Para asegurar que los puntos de vista de los países americanos sean tomados en cuenta se fundó una organización llamada 3GPP2 Third Generation Partnership Project Number 2 (Proyecto de Alianza para la Tercera Generación Número 2), que desempeña el trabajo de especificación tomando como base la tecnología de radio IS-95.

La meta común para 3GPP, OHG, 3GPP2 es crear especificaciones de acuerdo a un sistema celular global con acceso de banda ancha que podría ser implementado.

La 3GPP originalmente decidió preparar especificaciones anualmente, la primera especificación llamada Release 99 (3GPP R99). Ésta estaba relacionada con la presencia del GSM. Desde el punto de vista de UMTS la presencia de GSM es muy importante;



primero, la red UMTS debe ser compatible con las redes GSM existentes y segundo, las redes GSM y UMTS deben ser capaces de interactuar juntas. La siguiente publicación fue conocida como 3GPP R00, las actividades de esta especificación fueron incluidas en dos publicaciones llamadas 3GPP R4 y 3GPP R5. También para ser consistente la 3GPP R99 es algunas veces llamada 3GPP R 3.

La 3GPP R4 define los principales cambios de UMTS en la parte de acceso a la red y estos están relacionados a la separación de flujo de datos del usuario y los mecanismos de control. También definen los mecanismos y aplicaciones para multimedia. El 3GPP R5 se dirige para introducir una red UMTS donde la red de transporte utiliza la IP Networking tal como sea posible por lo que es llamada la red “All IP”. Los protocolos IP y superiores a esta, son utilizados en el control de la red.

En 3GPP R99 la base para la Red de Acceso Terrestre UMTS (UTRAN) es el acceso de radio WCDMA. En 3GPP R4/5 otra tecnología de acceso de radio se derivó de GSM llamada EDGE, la cual será especificada para crear la red de acceso de radio GSM/EDGE (GERAN) como una alternativa para construir una red móvil UMTS.

V.1.2 ARQUITECTURA GENERAL DE LA RED UMTS.

Las especificaciones UMTS definen las siguientes entidades funcionales (Figura V.3):

- UE (User Equipment). Equipo terminal del usuario que se subdivide a su vez en:
 - ME (Mobile Equipment). Equipo móvil encargado de la transmisión y recepción a través de la interfaz radio.
 - USIM (UMTS Subscriber Identity Module). Módulo de identidad que contiene los datos y características que definen a un usuario.
- UTRAN (UMTS Terrestrial Radio Access Network). Es la red de acceso de radio para UMTS.
 - Se conecta a la red troncal mediante la interfaz Iu.
 - Se conecta al terminal de usuario mediante la interfaz radio Uu.
- CN (Core Network). Núcleo de red o red troncal UMTS.
 - Conjunto de elementos y entidades funcionales que realizan funciones de conmutación y de provisión de servicios.

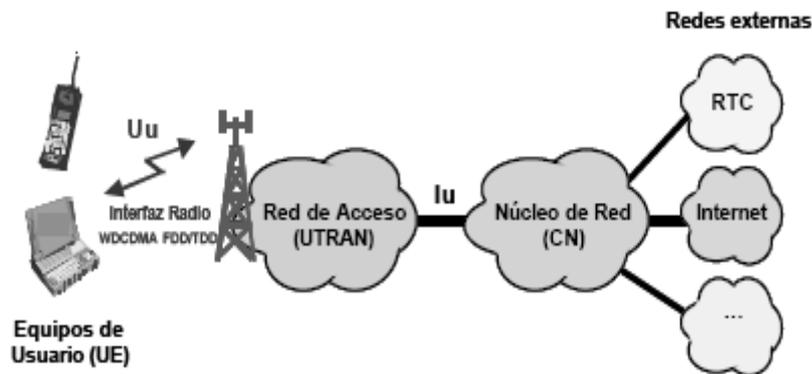


Figura V.3

Los equipos de usuario acceden a la red a través del interfaz radio (Uu), basado en WCDMA. La red de acceso de radio (UTRAN) se encarga de transportar el tráfico de usuario (voz, datos, señalización móvil-red) hasta el núcleo de red (CN, Core Network), con el que se comunica a través del interfaz Iu. Dentro del núcleo de red se encuentran los recursos de conmutación y transmisión necesarios para completar el trayecto de la comunicación hacia el abonado remoto, que puede pertenecer a la red UMTS o a una red externa (RTC, Internet, etc).

El núcleo de red en UMTS se plantea como la evolución existente en las actuales redes 2G basadas en GSM/GPRS. En la primera fase de normalización (Release 99), se propone la reutilización de la infraestructura disponible en dichas redes. La evolución del CN propiamente dicha se deja para fases posteriores (Release 4 y Release 5).

V.2. REGULACION DEL ESPECTRO.

En 1992, la World Administrative Radio Conference (WARC) asignó 230 MHz del nuevo espectro de radio a los servicios por satélite y terrestres. De aquí, la UIT ha asignado 155 MHz en la banda de 2 GHz para los servicios 3G terrestres.

Las propuestas a la UIT para el IMT-2000 remitidas por el ETSI y ARIB recomiendan el uso de WCDMA, con bandas de guarda de 15-20 MHz en la zona de 2 GHz del espectro.

En Europa y Japón se ha asignado el espectro en dos bandas de 2 GHz, próximas a las recomendadas por la UIT, para cumplir estos requisitos.



Bandas de frecuencias UMTS/IMT-2000

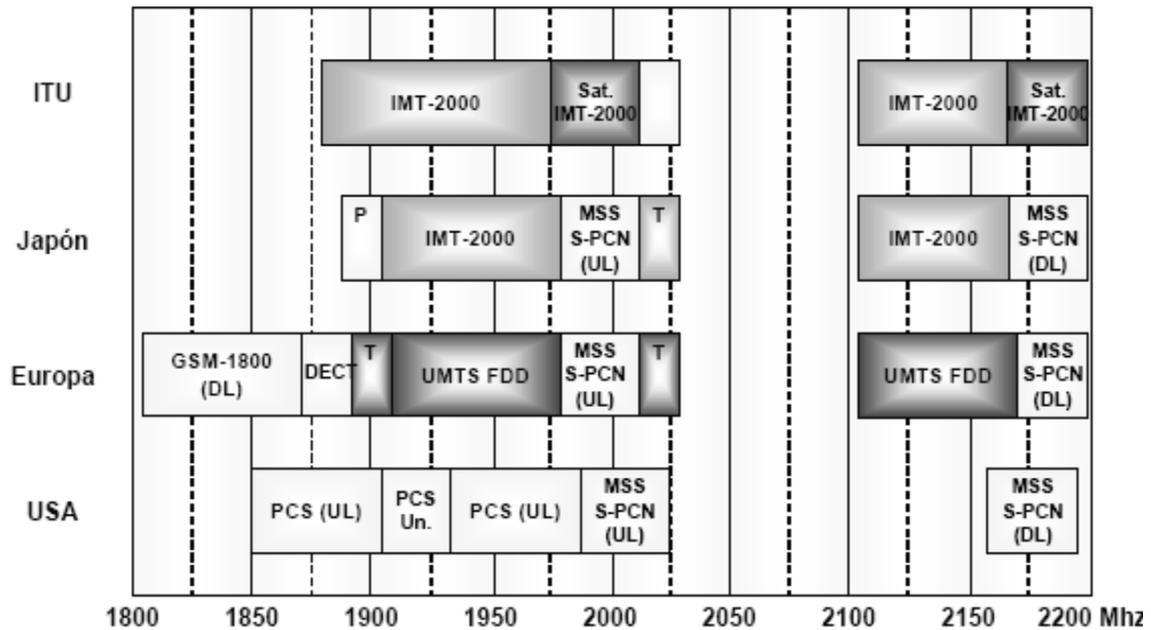


Figura V.4

En los Estados Unidos, gran parte de la banda inferior de 2 GHz asignada para el IMT-2000 en WARC está ocupada por las asignaciones del espectro PCS, dificultando el uso de 2 GHz con bandas de guarda a más de 5 MHz.

Todas las nuevas tecnologías de telecomunicaciones que se han adoptado para los estándares internacionales han estado rodeadas de negociaciones sobre los DPI, pero el proceso de normalización no tendría por que verse afectado por estas cuestiones.

GSM no se habría convertido en un estándar si se hubiera permitido que las numerosas discusiones sobre DPI influyeran sobre la marcha del proceso.

En la tecnología 3G, al igual que en todas las demás áreas tecnológicas, existe un gran número de titulares de DPI. El sistema que se sigue es el de las compañías del sector, no los organismos de normalización, los que negocian la concesión de licencias o intercambios de DPI.

Si nos imaginamos que el teléfono móvil nos proporciona una "conducción" de radio hacia la red mundial de telecomunicaciones, los servicios 3G supondrían un ensanchamiento de esa conducción además de permitir enviar y recibir mucha más información simultáneamente.

Además, la 3G implicaría la convergencia de las tecnologías de comunicaciones de área local (interior) y de área amplia (exterior); podríamos acceder a todos los servicios que necesitamos sin problemas desde una terminal mientras nos estamos moviendo.



La tecnología alrededor de la cual giran los servicios 3G es el enlace de radio que proporciona esta conducción de comunicación entre los usuarios y la red. Pero va a hacer falta introducir otras modificaciones importantes en la red central y en la manera de crear y prestar los servicios. En primer lugar, esto significa la incorporación de medios IP inalámbricos para operadores que sean fuertes y con vistas al futuro.

La interconexión entre las redes de radio adaptadas y las nuevas de banda ancha será posible gracias a los teléfonos móviles y a las terminales multibanda y multimodo que permitirán a los usuarios pasar de una red a otra o entre "islas" WCDMA y redes avanzadas circundantes (EDGE) y acceder a sus servicios sin problemas. Esto permitirá desarrollar el servicio de una manera flexible, ya que evitará la necesidad de implantar una red nacional WCDMA desde el principio.

V.3 ARQUITECTURA DE LA RED DE ACCESO UMTS (UTRAN).

La red de acceso en UMTS, por el contrario, difiere desde el primer momento con respecto a las redes 2G. Con objeto de acomodar de manera flexible y eficiente los distintos tipos de aplicaciones posibles en UMTS, se recurre al empleo de técnicas de conmutación de paquetes. Así, la Release 99 establece el empleo de ATM (Asynchronous Transfer Mode) como tecnología de transporte en UTRAN. La selección inicial de ATM se justifica por el hecho de ser una de las tecnologías más flexibles y maduras (al menos en la fecha en la que se tomó la decisión) para el despliegue de redes multiservicio con QoS.

En la figura V.5., se muestra la arquitectura de UTRAN, en la que pueden observarse los elementos que la componen y los interfaces definidos entre ellos. La red de acceso UMTS consta de uno o más subsistemas RNS (Radio Network Subsystem). Cada RNS cubre un conjunto de células UMTS, siendo responsable de la gestión de los recursos asociados a ellas. Un RNS está formado por un controlador RNC (Radio Network Controller) y un conjunto de estaciones base (Nodos-B).

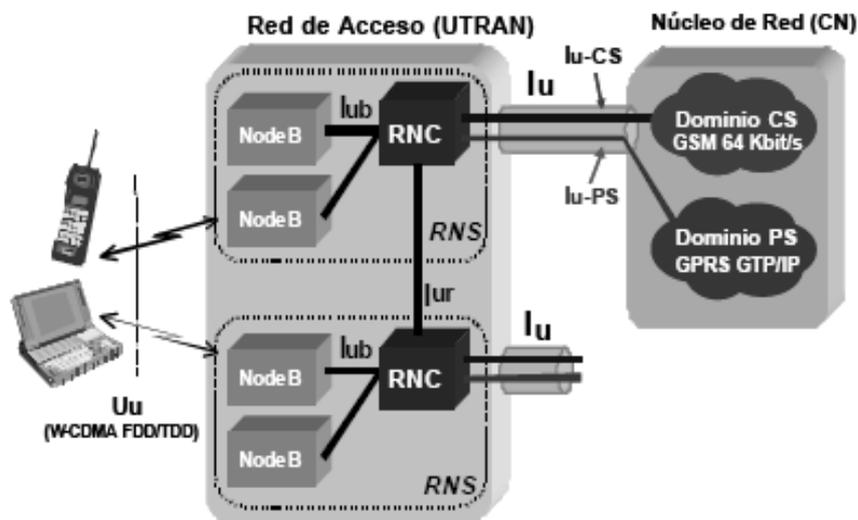


Figura V.5



Dentro de la red radio se definen dos tipos de interfaces: el interfaz Iub entre cada Nodo-B y el RNC que lo controla y el interfaz Iur entre RNC's. Este último interfaz, sin equivalente en las redes 2G, permite la comunicación directa entre RNC's para el soporte de traspasos suaves (Soft-Handover) entre estaciones base perteneciente a distintos RNC's.

La red radio también posee dos interfaces externos: el interfaz radio Uu, basado como ya se ha dicho en WCDMA, y el interfaz Iu con el núcleo de red. Este último se subdivide lógicamente en dos interfaces: Iu-CS hacia el dominio de conmutación de circuitos e Iu-PS hacia el dominio de conmutación de paquetes.

Elementos en la UTRAN:

- **Nodo B:** Estación radio da cobertura a los móviles. En general es sectorial con lo que una estación cubre tres células. Las funciones que realiza están relacionadas con el nivel físico (codificación de canal, modulación, spreading) y algunas del RRC como el control de potencia o la ejecución del softer handover. Equivale a la BTS de GSM.
- **RNC (Radio Network Controller):** Equipo que controla a un grupo de Nodos-B. Es equivalente a la BSC de GSM. Realiza funciones de terminación de los protocolos radio y control de los recursos radio.
- **UE:** Consiste en el equipo terminal del usuario formado por el ME (terminal móvil) y por el USIM (tarjeta que almacena la identidad del usuario y que lleva a cabo los algoritmos de autenticación y encriptación).

Los interfaces de la red UTRAN se pueden clasificar en internos y externos.

Dentro de los primeros tenemos:

- **Interfaz Iub:** Interfaz entre los Nodos B y el RNC que permite el transporte de las tramas radio desde el UE hasta el RNC. Utiliza el protocolo NBAP de señalización.
- **Interfaz Iur:** Permite la ejecución de traspasos suaves. Proporciona funciones de macrodiversidad provenientes de la tecnología CDMA.

En los externos tenemos:

- **Interfaz Iu:** Se encuentra entre el RNC y la MSC (Iu-CS) o SGSN (Iu-PS). El protocolo de señalización que utiliza es el RNAP (Radio Access Network Application Part).
- **Interfaz Uu:** Es el interfaz que se encuentra entre el móvil y el Nodo B. Se encuentra basado en la tecnología WCDMA.

Puede realizarse una división de la red en dos estratos desde un punto de vista de agrupación de funciones. Un estrato es una agrupación de protocolos (flujos de comunicación) asociados a uno o más aspectos de servicio.

Se distingue entonces:

- **Estrato de Acceso:** Representa la comunicación entre el UE y la UTRAN. Comprende las capas 1, 2 y parte de la 3 del modelo OSI. Se considera que es la capa portadora de las funciones del estrato de no acceso. Es dependiente de la tecnología de acceso utilizada en el interfaz radio.



- Estrato de No acceso: Representa la comunicación entre el UE y el CN; se considera que comprende parte de la capa 3 y las capas 4 a la 7 del modelo OSI.

V.3.1 ARQUITECTURA DE PROTOCOLO DEL INTERFAZ RADIO.

Se compone de tres capas (figura V. 6.):

- Capa Física L1.
- Capa de Enlace L2.
- Capa de Red L3.

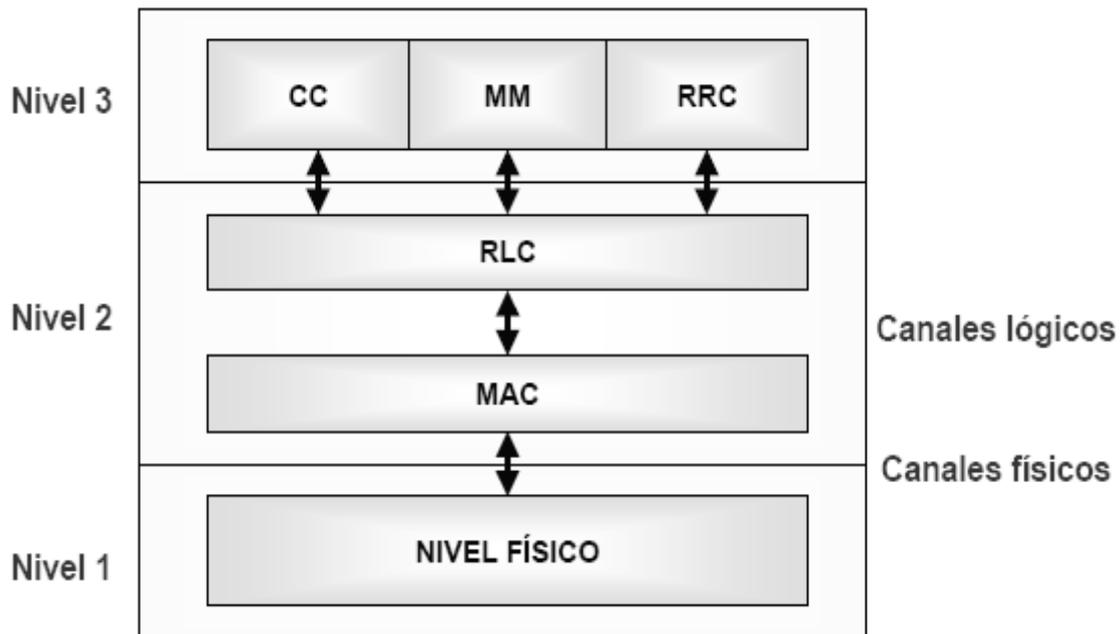


Figura V.6

La Capa de Enlace L2 se compone de 4 subcapas: MAC (Medium Access Control), RLC (Radio Link Control), PDCP (Packet Data Control Protocol) y BMC (Broadcast/Multicast Control Protocol). Estas dos últimas subcapas sólo afectan al plano de datos de usuario. El PDPC existe para el dominio de paquetes y su función es de compresión de cabeceras. El BMC se utiliza para difundir sobre el interfaz radio mensajes provenientes del centro de Difusión.

La Capa L3 se divide en dos partes: Access Stratum y Non Access Stratum. La parte de acceso al estrato está formada por la entidad RRC y la entidad “duplication avoidance”. La parte del no acceso está formada por las partes de control de llamadas CC y gestión de la movilidad MM. Todos los mensajes de señalización de las capas superiores (señalización de Non Access Stratum) y de la propia capa son encapsulados en los mensajes RRC para su transmisión sobre el interfaz radio. La entidad “duplication avoidance” se encarga de garantizar la protección de los datos cuando cambia el punto de conexión en el Interfaz Iu.

Las capas del modelo se relacionan entre sí a través de enlaces de control que son dependientes de la implementación (en los estándares no están descritos). Estos enlaces de control permiten a la capa RRC configurar las capas bajas del modelo:



- Configuración de la Capa 1 para una reconfiguración de una portadora radio y envío de comandos para realizar medidas.
- Intercambio de información sobre volumen de tráfico entre la MAC y RRC lo que permite conmutar entre canales de transporte (por ejemplo de FACH a DSCH).
- Reporte de medidas de la capa 1 a la RRC.
- Reporte de estadísticas de errores de transmisión de la capa RLC a la RRC lo que da lugar a cambios de formatos de transporte.
- Configurar la capa PDPC para realizar la compresión de cabeceras.

Cada capa ofrece servicios en los SAP's y cada servicio viene definido por un conjunto de operaciones (primitivas) que una capa proporciona a las superiores. Para las primitivas se sigue el siguiente convenio:

- Las primitivas proporcionadas por SAP's entre capas adyacentes se nombran con el prefijo de la capa que proporciona el servicio PHY, MAC, RLC, PDCP, BMC o UUS.
- Las primitivas proporcionadas por un SAP a una aplicación se nombran con el prefijo de la capa que proporciona el servicio RRC.

Las primitivas proporcionadas por un SAP de control añaden al nombre de la capa que proporciona el servicio el prefijo CPPHY, CMAC, CRLC, CPDCP o CBMC.

La capa física trabaja con canales físicos y ofrece servicios en los SAP's (Service Access Point) denominados canales de transporte al subnivel más bajo de la capa de enlace (MAC).

A su vez el subnivel inferior (MAC) de la capa de enlace ofrece servicios en los canales lógicos al superior (RLC). La capa RLC proporciona tres tipos de SAP's dependiendo del modo de operación del protocolo RLC (UM, AM o TM). El servicio que proporciona la capa 2 se conoce con el nombre de portador radio (radio bearer). Las proporcionadas por el plano de control se les conocen con el nombre de portadoras de señalización radio.

V.3.1.1. CAPA FÍSICA.

Los sistemas de radio transmiten y reciben utilizando el mismo recurso: la fracción del espectro electromagnético asignado al sistema por los organismos reguladores. En general el hecho de que diversos usuarios del mismo sistema utilicen un recurso compartido, nos lleva a una situación de conflicto si dos o más usuarios transmiten al mismo tiempo y en la misma frecuencia sin tomar precauciones apropiadas. De ahí que, las técnicas de acceso múltiple se hayan desarrollado con el objetivo de resolver posibles interferencias entre usuarios y para maximizar la capacidad del sistema, en otras palabras, maximizar el número de usuarios al que se le puede prestar servicio con una cualidad preestablecida.



Las técnicas de acceso clásicas tratan de dividir los recursos de transmisión, por ejemplo en frecuencia (o ancho de banda) y en tiempo lo más eficientemente posible entre los usuarios que deseen acceder al servicio. Estas técnicas se denominan FDMA (*Frequency Division Multiple Access*) (*Acceso por Múltiple División de Frecuencia*) y TDMA (*Time Division Multiple Access*) (*Acceso Múltiple de División de Tiempo*) respectivamente.

La técnica FDMA consiste en dividir el ancho de banda asignado al sistema entre un cierto número de franjas denominadas canales centradas en una frecuencia portadora. Cada usuario es asignado a un canal durante todo el tiempo que dura su conversación. Otros usuarios podrán acceder a este canal una vez que el primer usuario haya finalizado su conversación. Esta técnica es la utilizada por los sistemas celulares de primer generación tales como TACS (*Total Access Communication System*) (*Sistema de Comunicación Total del Acceso*) y AMPS (*Advanced Mobile Phone Service*) (*Servicio Telefónico Móvil Avanzado*).

La técnica TDMA parte el recurso utilizado para transmitir en fracciones de tiempo denominadas “time slots”. Múltiples usuarios pueden hacer uso de la banda asignada para la comunicación en diferentes momentos o slots. En este caso el recurso básico es la porción de tiempo asignada a la comunicación. En general, la mezcla de las técnicas TDMA-FDMA es la utilizada, donde el ancho de banda asignado a un operador es dividido en múltiples canales utilizando la técnica FDMA, y a su vez cada uno de estos canales es compartido por varios usuarios utilizando la técnica TDMA.

La técnica mixta TDMA-FDMA es la utilizada por los sistemas celulares digitales de segunda generación como GSM (*Global System for Mobile Communications*)(*Sistema Global de Comunicación Móvil*) y PDC (*Personal Digital Cellular*)(*Celular Digital Personal*).

La Capa Física de UMTS está basada en la técnica de Acceso Múltiple por División de Códigos de Banda Ancha (WCDMA). En los sistemas CDMA tradicionales los usuarios comparten los recursos radioeléctricos: ancho de banda, tiempo y espacio (zona de cobertura). CDMA tiene su fundamento teórico en las técnicas de espectro ensanchado (*spread spectrum*) donde la señal ocupa una anchura de banda muy superior a la que sería estrictamente necesaria para su transmisión. Para ensanchar la señal se utiliza una secuencia de código que es independiente de la señal de información.

Existen dos modalidades fundamentales para la generación de un código de expansión:

- Modulación por secuencia directa (*Direct Sequence, DS*) que se realiza en banda base.
- Modulación por saltos de frecuencia (*Frequency Hopping, FH*) que se realiza en radiofrecuencia.

Estas técnicas presentan frente a las TDMA/FDMA mayor capacidad, mejor calidad de voz al eliminar los efectos audibles de los desvanecimientos, disminución del número de llamadas interrumpidas en traspasos y la posibilidad de compartir la banda con otros sistemas. En la técnica *CDMA-DS* las señales de espectro ensanchado se generan mediante modulación lineal con secuencias ortogonales o cuasi-ortogonales de banda ancha que son asignadas a los usuarios. Estas secuencias pueden diferir en enlace ascendente y descendente. El proceso consiste en multiplicar la señal de información



$x(t)$ por la secuencia de expansión, llamada *signatura* o *código de expansión*, del usuario $c(t)$, transmitir el producto y en recepción multiplicarlo de nuevo por $c(t)$, y realizar el procesado (correlación), recuperando la señal original. Al proceso de multiplicación en transmisión se le denomina ensanchado (*spreading*) (figura V. 7) ya que origina la expansión de la señal de banda estrecha a toda la banda de frecuencias y al proceso de multiplicación en recepción se le denomina desensanchado (*de-spread*) ya que con él se recupera la señal original.

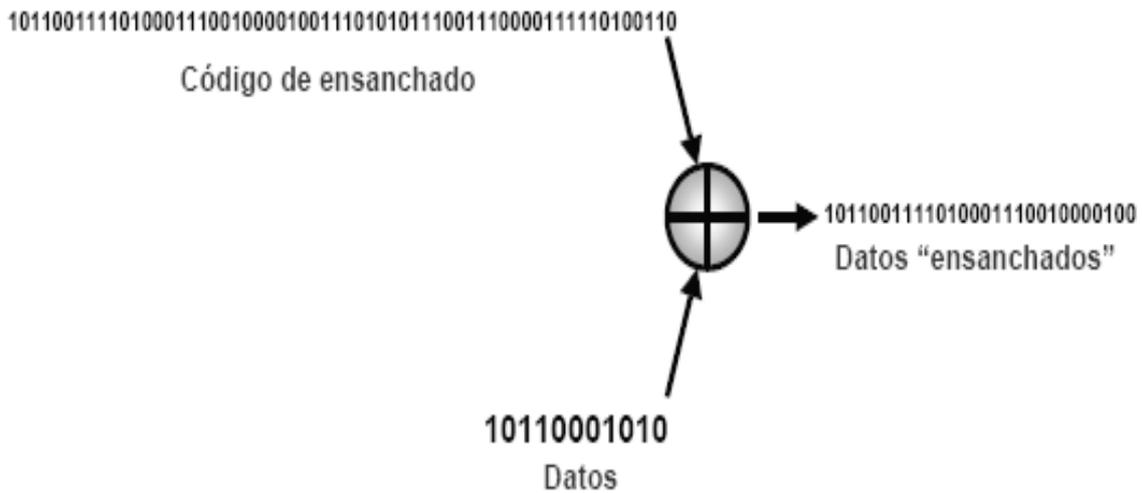


Figura V.7

En el transmisor cada bit de la señal se multiplica por el código de dirección que tiene N chips, quedando codificado, para lo cual la velocidad de chip (asociada al ancho de banda del sistema) debe ser mayor que la velocidad binaria de la señal (asociada al ancho de banda de la misma). Por lo tanto, si la velocidad de chip es R_c y la velocidad binaria R_b , $R_c = NR_b$. De la relación existente entre la velocidad de chip (R_c) y la velocidad binaria (R_b) se obtiene la ganancia de proceso de la siguiente forma: $G = R_c/R_b$. Si se tiene en cuenta que $R_c = 1/T_c \cdot H \cdot B_c$, siendo T_c el período de la señal ensanchada y B_c su ancho de banda, y que $R_b = 1/T_b \cdot H \cdot B_b$, siendo T_b el período de la señal original y B_b su ancho de banda se puede expresar la ganancia de proceso como la relación entre los anchos de banda:

$$G = B_c / B_b$$

Finalmente si se expresa la ganancia de proceso en función del período de las señales se tendrá: $G = T_b/T_c$. Por otro lado, suponiendo que la potencia transmitida por la señal ensanchada es la misma que la transmitida por la original, la densidad espectral de potencia de la señal ensanchada es $P_s(B_c/B_b) = P_s(G) = P/G$, siendo P la densidad espectral de potencia de la señal original y P_s la densidad espectral de potencia de la señal ensanchada.

La ganancia de proceso tiene habitualmente un valor entre 10 y 30 dB. Cuanto mayor sea la ganancia de proceso, mejor reducirá el sistema los problemas del multitrayecto, así como los de interferencia. Esto se muestra en la siguiente figura V.8:

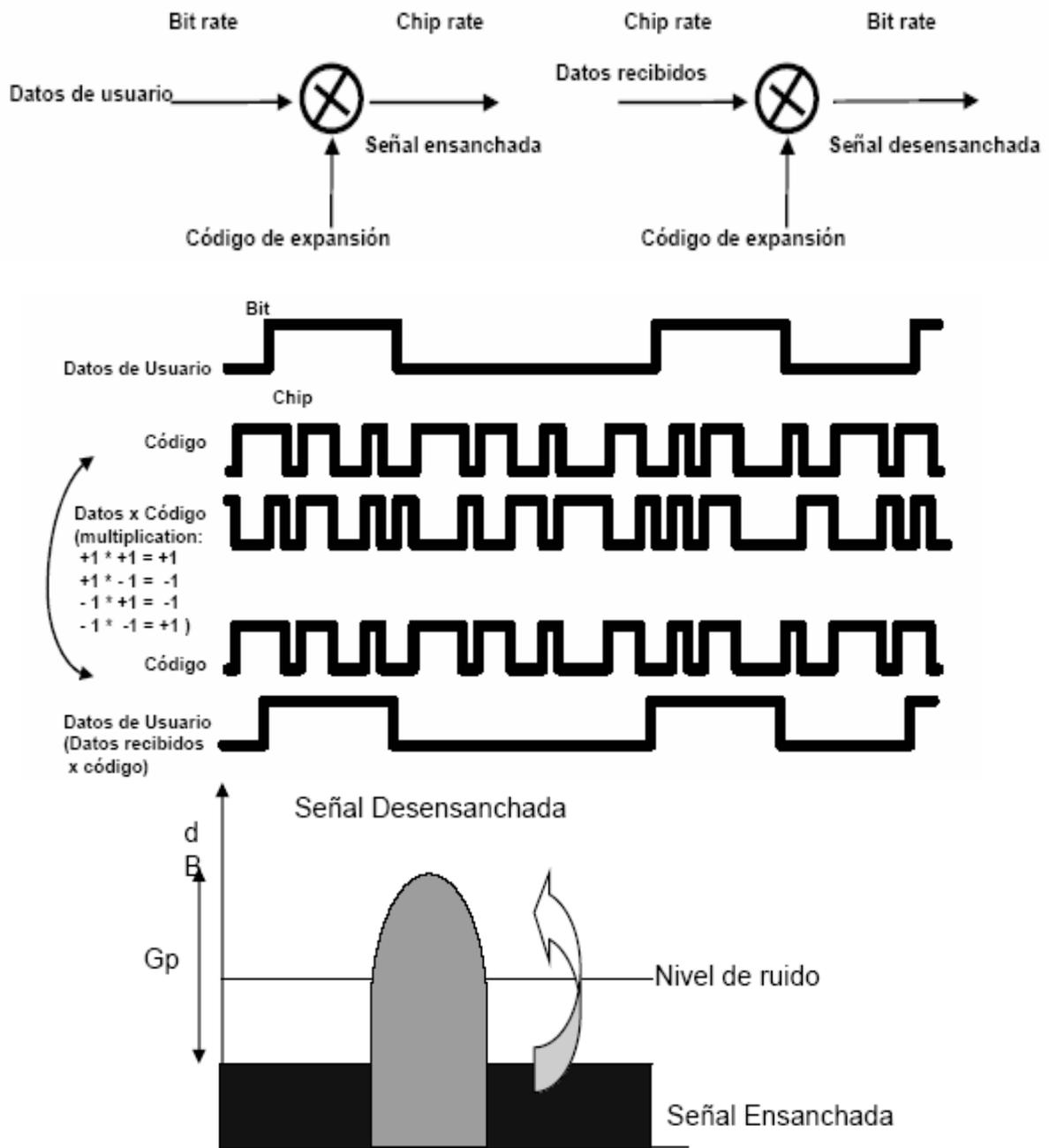


Figura V.8

UMTS utiliza la técnica WCDMA donde el chip rate de la señal ensanchada es fijo e igual a 3.84 Mcps lo que conduce a un ancho de banda de 5 Mhz. A cada usuario se le asignan tramas de 10 ms durante las cuales su tasa de bits es constante aunque puede variar de una trama a otra (variando el SF). En la figura V.9 se muestra esta característica y que los servicios con altas tasas de bits de usuario requieren una mayor potencia que los de baja velocidad.

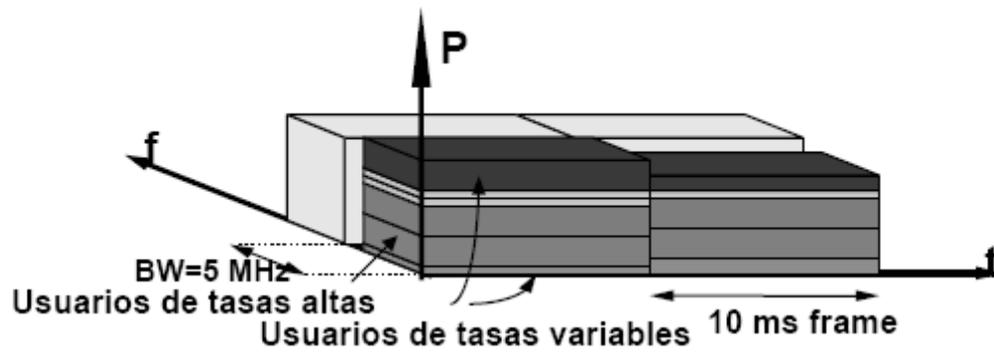


Figura V.9

Puede encontrarse una relación entre la ganancia de procesamiento y la capacidad de una celda:

$$C_{\max} = G_p / (E_b / N_o)$$

De donde se deduce que cuando aumenta el número de usuarios lo hace también el ruido, siendo por tanto menor la ganancia de procesamiento para un (E_b/N_o) requerido dando lugar a una disminución de la capacidad.

En WCDMA los códigos de spreading se componen de dos códigos (figura V. 10):

- Scrambling: Se utilizan para separar usuarios en el UL y celdas en DL. Estos códigos pueden ser largos (38400 chips) o cortos (256 chips) en el UL y son largos en el DL.

Los códigos largos son códigos de Gold mientras los cortos pertenecen a la familia de códigos extendidos S (2).

- Canalización: Se utilizan para separar los canales físicos de datos y de control de un mismo UE y en el DL para separar las conexiones de diferentes usuarios dentro de una celda. Son códigos cortos de 256 chips (en DL es posible 512 chips) y pertenecen a la familia OVSF.

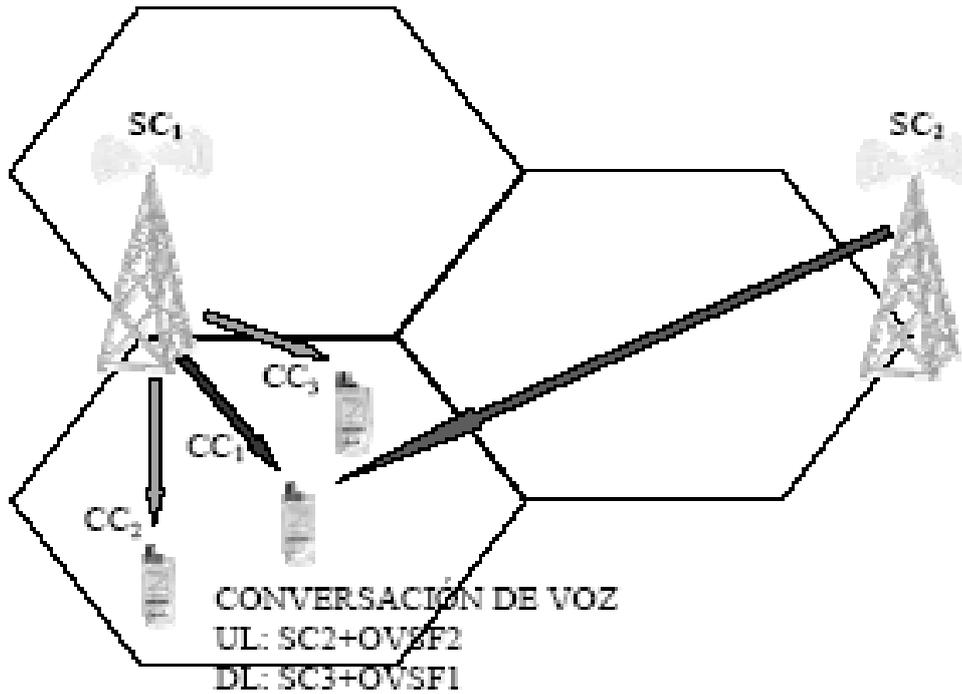


Figura V.10. Estructura de Códigos.

WCDMA soporta dos modos básicos de operación:

- FDD Frequency Division Duplex (*División de Frecuencia Doble*): Donde el uplink y el downlink utilizan frecuencias diferentes separadas 190 Mhz.
TDD Time Division Duplex (*División de Tiempo Doble*): Donde el uplink y el downlink utilizan la misma frecuencia pero se encuentran separados en el tiempo.

La asignación hecha para los dos modos se muestra en la figura V. 11:

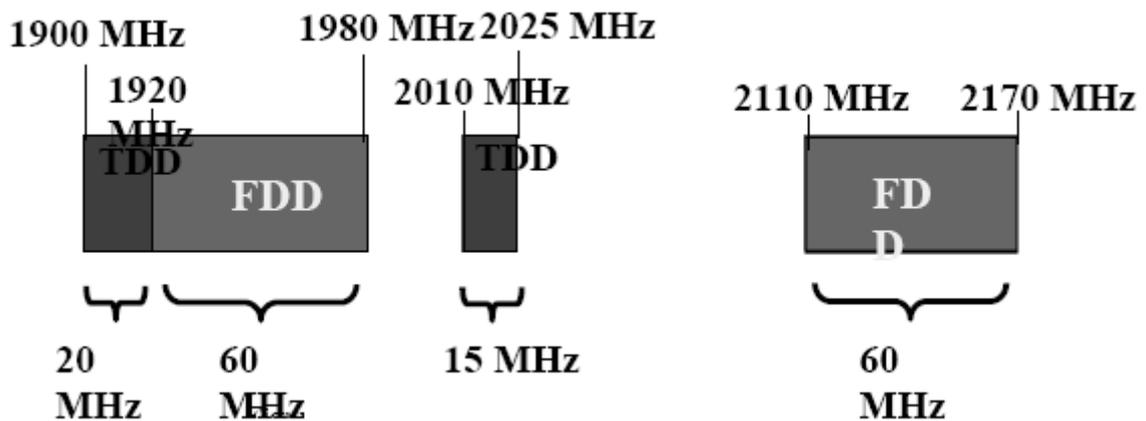


Figura V.11 Asignación de frecuencias en UMTS



V.3.1.1.1 ARQUITECTURA DE LA CAPA FÍSICA.

La capa física L1 se divide en dos subcapas: la de transporte y la física. La primera se encarga de todo el procesado (macro-diversidad, ejecución del soft-handover, detección de errores en los canales de transporte e indicación a las capas superiores, codificación/decodificación e interleaving/desinterleaving de canales de transporte, multiplexado/demultiplexado de canales compuestos de transporte y mapeado de canales de transporte en canales físicos) para proporcionar diferentes servicios con diferentes calidades de servicio QoS. La segunda se encarga del mapeado de los bits procedentes de la subcapa de transporte a señales eléctricas que puedan ser transmitidas sobre el interfaz aire (multiplexación de datos y control, modulación NRZ, conversión serie-paralelo, sincronización en frecuencia y tiempo, medidas e indicación a las capas superiores FER, SIR, interferencia, etc., control de potencia). Estas dos subcapas son manejadas por la entidad de control L1M. Está formada por varias unidades localizadas en el móvil y en el Nodo B. La capa L1 ofrece servicios de transporte de datos a las capas superiores mediante los canales de transporte. Estos servicios se ofrecen a través de enlaces de radio formados por uno o varios canales de transporte y un canal físico que se establecen mediante enlaces de señalización. Estos enlaces radio son manejados por la entidad de control de la capa físico L1M. Las funciones de la capa física son realizadas por el móvil y por el Nodo B (excepto la macro-diversidad que es realizada por el RNC). En la figura V. 12 se muestra la arquitectura de la capa física.

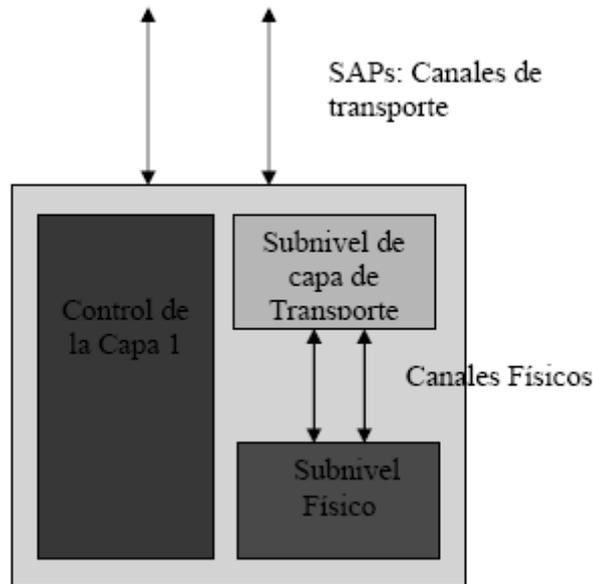


Figura V.12 Arquitectura de la Capa Física.



V.3.1.1.2. SERVICIOS DE LA CAPA FÍSICA.

V.3.1.1.2.1. SERVICIOS DEL SUBNIVEL FÍSICO.

Pueden considerarse los servicios de este subnivel como canales físicos que se definen en la UTRAN mediante una frecuencia, un código de scrambling y la fase relativa (0 o $\pi/2$).

Relacionados con los canales físicos se define:

- Trama radio: Tiene una duración de 10 ms (38400 chips) y se divide en 15 intervalos de tiempo (slots). La duración de trama corresponde a un período de control de potencia.
- Slots o Intervalos de tiempo: Unidad que lleva campos con bits y que tiene una duración de $2/3$ ms lo que corresponde a 2560 chips. Dependiendo de la tasa de bits del canal físico varía el número de bits por slot. En la figura V.13., se muestra la estructura de la trama de los canales físicos del modo FDD.

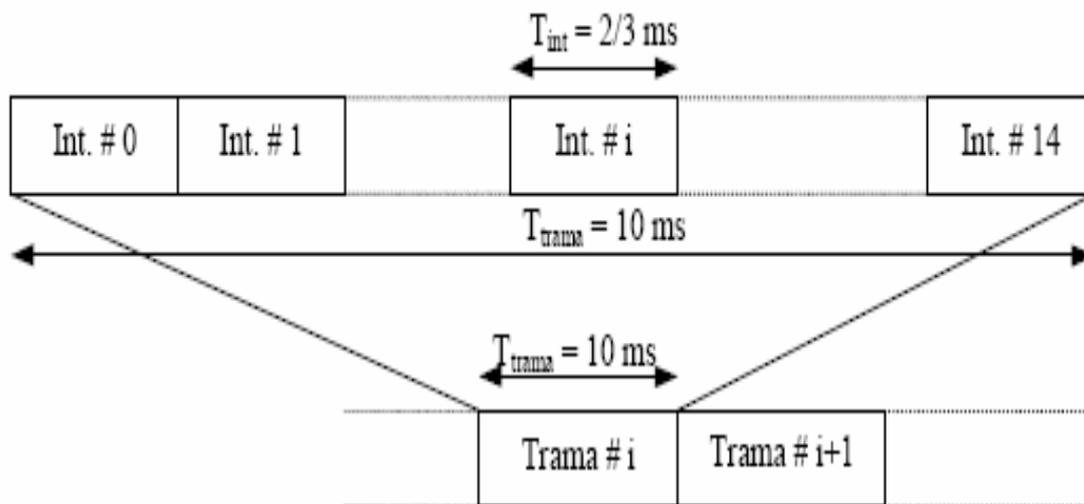


Figura V.13 Estructura de la trama del canal físico.

Este nivel trabaja también con señales físicas que son entidades con los mismos atributos de los canales físicos, salvo que no llevan mapeados indicadores ni canales de transporte. Existen diversos tipos de canales físicos cuyas características más importantes se resumen en las figuras V.14 y V.15.

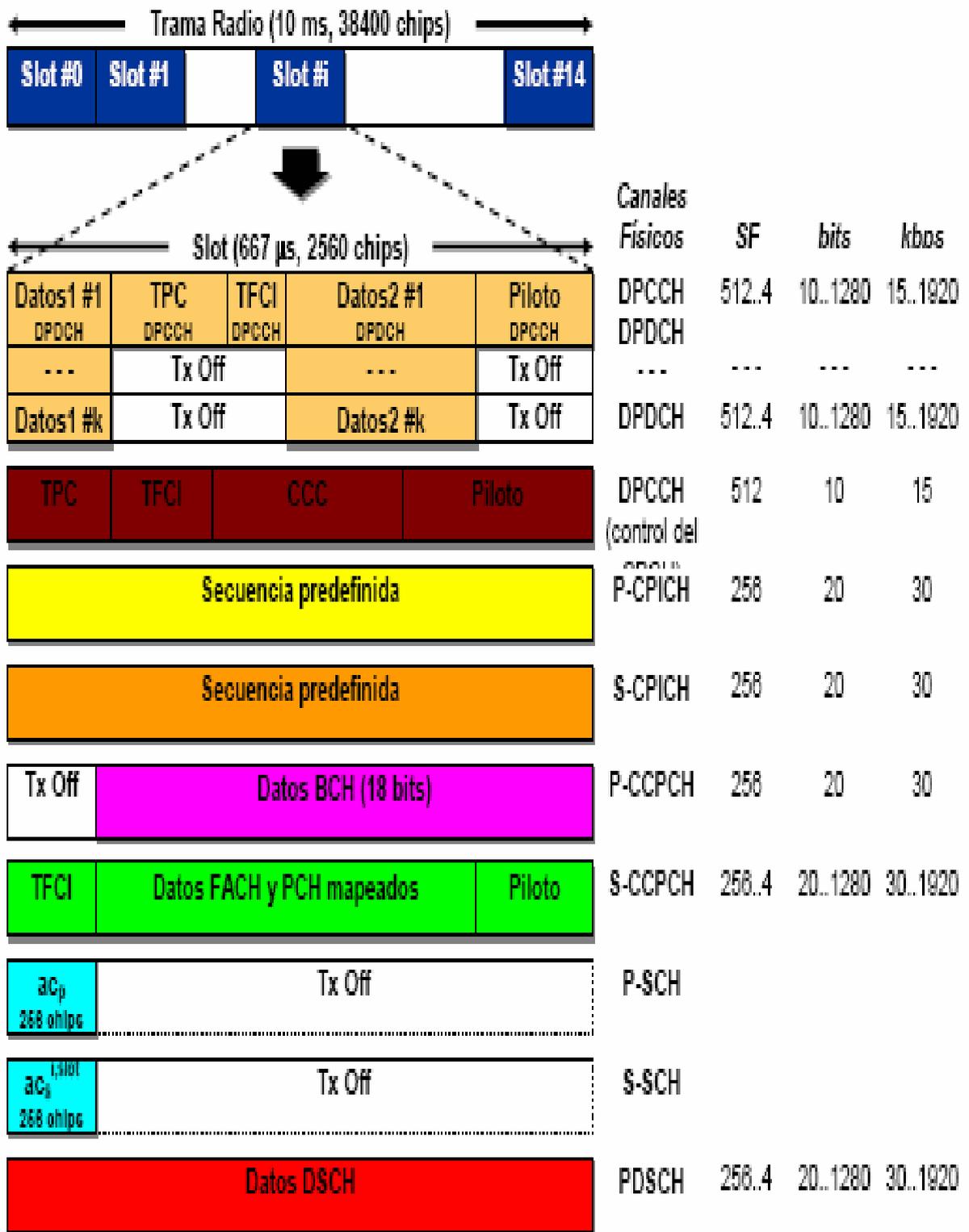


Figura V.14 Estructura de la trama de los canales físicos en DL.

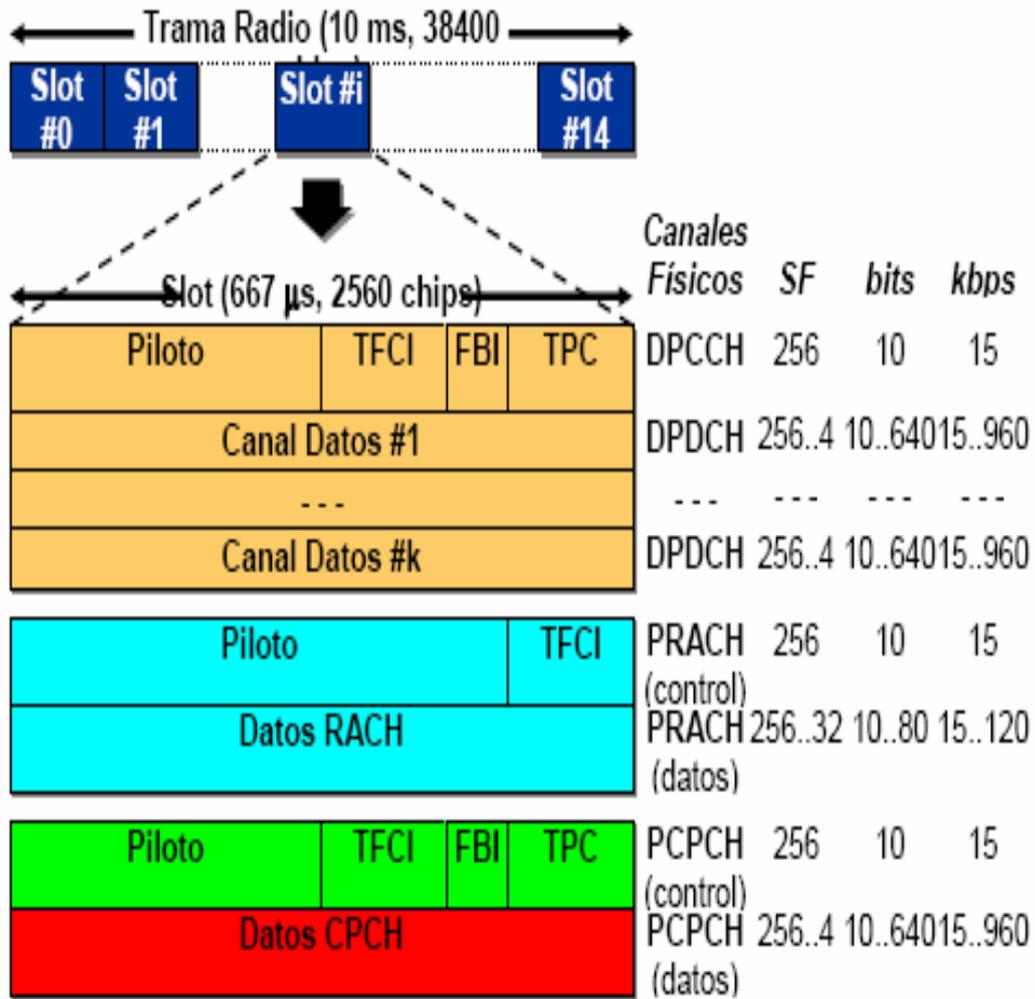


Figura V.15 Estructura de la trama de los canales físicos en UL.

El subnivel físico añade a los datos entregados por el subnivel de transporte bits de control (cabecera del nivel 1) que son:

Bits de piloto: Secuencia predefinida que sirve para estimar el canal y que permiten confirmar la sincronización de trama.

Información de Feedback FBI: Se utiliza en el uplink y sólo en canales dedicados y sirve para que el UE indique al Nodo B la calidad del enlace cuando la técnica que utiliza éste requiere de realimentación del UE.

TPC Transmit Power Control: Son utilizados por el emisor en el algoritmo de control de potencia y sirve para indicar su incremento o decremento.

Los bits de TFCI se añaden en el subnivel de transporte y se explican con mayor detalle enseguida.

V.3.1.1.2.2. SERVICIOS DEL SUBNIVEL DE TRANSPORTE.

La capa física ofrece servicios de transporte de datos a las capas superiores. El acceso a estos servicios se realiza a través de los canales de transporte por medio de la sub-cap



MAC. Los servicios de transporte de la capa física son descritos en como y con que características se transmiten los datos a través del interfaz aire. La unidad de datos que se intercambia entre la capa L1 y la MAC se denomina bloque de transporte. Típicamente un bloque de transporte se corresponde con una PDU de la capa MAC (unidad de datos del protocolo).

Un UE puede establecer varios canales de transporte simultáneamente, cada uno teniendo sus propias características de transporte (diferentes capacidades de corrección de errores).

Cada canal de transporte puede ser usado para transmitir información de una portadora radio o información de señalización de la capa 2 o de capas superiores.

La multiplexación de los canales de transporte se realiza en los mismos o diferentes canales físicos de la capa física.

Todos los canales de transporte son unidireccionales (uplink o downlink). Esto implica que un UE puede tener simultáneamente uno o varios canales de transporte en el downlink y uno o más canales de transporte en el uplink.

A continuación se dan definiciones necesarias para entender los canales de transporte:

- Bloque de Transporte (Transport block): Unidad de datos que se intercambia entre la capa MAC y la capa L1 para el procesado de ésta (añade el CRC a cada bloque). Típicamente se corresponde con una PDU de la capa RLC. De hecho es igual a una PDU de la capa MAC.
- Conjunto de Bloques de Transporte (Transport Block Set): Conjunto de bloques de transporte que se intercambian durante el mismo intervalo de tiempo de transmisión (Time Interval Transmisión TTI) usando el mismo canal de transporte. Cuando se utiliza segmentación en la capa RLC corresponden a las diferentes PDU's de una SDU de la capa RLC. Los bloques de transporte son transmitidos en el mismo orden en el que fueron recibidos de la capa RLC (si vienen del mismo canal lógico). Los bloques de transporte de un mismo TBS tienen los mismos tamaños todos. El tamaño del TBS se denomina Transport Block Set Size y se define como el número de bits que hay en un TBS.
- Intervalo de Tiempo de Transmisión (TTI): Corresponde al tiempo que transcurre entre dos transmisiones consecutivas de dos conjuntos de bloques de transporte. Es el período de interleaving para el TBS, siendo un múltiplo del período mínimo de interleaving. Puede ser 10, 20, 40 o 80 ms (múltiplos de la duración de una trama radio) dependiendo del servicio (20 ms para la voz). La capa MAC entrega un conjunto de bloques de transporte a la capa física cada TTI.
- Formato de Transporte TF: Se define como el formato ofrecido por la capa L1 a la MAC (y viceversa) para la transmisión de un TBS durante el TTI para un canal de transporte.



El formato de transporte está constituido por una parte dinámica y una semi-estática.

Los atributos de la parte dinámica son:

- Transport Block Size.
- Transport Block Set Size.
- Transmission Time Interval (atributo opcional para TDD).

Los atributos de la parte semi-estática son:

- Intervalo de Transmisión de Tiempo.
- Esquema de protección contra errores.
- Tamaño del CRC.

Ejemplo:

Parte Dinámica: {320 bits, 640 bits}, parte semi-estática: {10ms, Convolutional coding only, static rate matching parameter = 1}.

Un formato de transporte vacío se define como un formato de transporte que tiene un tamaño de conjunto de bloques TBS igual a cero.

- Conjunto de Formatos de Transporte (Transport Format Set): Es el conjunto de formatos que se definen para un canal de transporte permitiendo la posibilidad de cambiar la tasa de bits. La parte semi-estática de todos los formatos de transporte de un mismo conjunto es la misma. Los dos atributos de la parte dinámica forman la tasa de bits instantánea del canal de transporte. Una tasa variable en el canal de transporte, dependiendo del servicio que se mapea en el canal de transporte, puede conseguirse variando:
 - Transport Block Set Size sólo.
 - Ambos el Transport Block Size y el Transport Block Set Size.

Ejemplo:

Parte dinámica: {20 bits, 20 bits}; {40 bits, 40 bits}; {80 bits, 80 bits}; {160 bits, 160 bits}.

Parte semi-estática: {10ms, Convolutional coding only, static rate matching parameter = 1}

Este ejemplo corresponde a un canal de transporte que lleva voz en bloques que se transmiten basados en un tiempo constante.

- Combinación de Formatos de Transporte: La capa 1 multiplexa uno o varios canales de transporte y para cada canal de transporte existe una lista de conjunto de formatos de canales de transporte que son aplicables. En un determinado instante de tiempo no pueden usarse todas las combinaciones en la capa física, sólo un subconjunto denominada combinación de formatos de transporte. Se define como una combinación autorizada de formatos de transporte válidos que pueden ser enviados simultáneamente a la capa física para la transmisión de un canal de transporte compuesto codificado de un UE conteniendo un formato de transporte para cada canal.



Ejemplo:

DCH1

Parte dinámica: {20 bits, 20 bits};

Parte semi-estática: {10ms, Convolutional coding only, static rate matching parameter = 1}

DCH2

Parte dinámica: {320 bits, 1280 bits};

Parte semi-estática: {10ms, Convolutional coding only, static rate matching parameter = 3}

DCH3

Parte dinámica: {320 bits, 320 bits};

Parte semi-estática: {40ms, Turbo coding, static rate matching parameter = 2}

Una combinación de formatos de transporte vacía se define como una combinación formada por formatos de transporte vacíos.

- Conjunto de Combinaciones de Formatos de Transporte: Se define como un conjunto de combinaciones de formatos de transporte en un canal de transporte compuesto codificado y son producidos por un algoritmo propietario en el RNC.

Ejemplo:

Parte dinámica:

Combinación 1: DCH1: {20 bits, 20 bits}, DCH2: {320 bits, 1280 bits}, DCH3: {320 bits, 320 bits}

Combinación 2: DCH1: {40 bits, 40 bits}, DCH2: {320 bits, 1280 bits}, DCH3: {320 bits, 320 bits}

Combinación 3: DCH1: {60 bits, 160 bits}, DCH2: {320 bits, 320 bits}, DCH3: {320 bits, 320 bits}

Parte semi-estática:

DCH1: {10ms, Convolutional coding only, static rate matching parameter = 1}

DCH2: {10ms, Convolutional coding only, static rate matching parameter = 1}

DCH3: {10ms, Turbo coding, static rate matching parameter = 1}

La asignación de los TFCS la lleva a cabo la capa 3. Cuando la capa MAC mapea los datos en la capa física elige entre las configuraciones de formatos de transporte dadas en el conjunto proporcionado por la capa 3 (realmente la capa MAC lo que hace es elegir la parte dinámica ya que la semi-estática no cambia). La parte semi-estática junto con el valor objetivo para el control de potencia en bucle cerrado vienen dados por los atributos del servicio (calidad BER y retraso) y son establecidos por el algoritmo de control de admisión en el RNC. La selección del TFCS por parte de la capa MAC puede verse como una parte del RRM que permite variar la tasa de bits de forma muy rápida sin necesidad de señalización por parte de la capa L3. Un TFCS sólo contiene aquellas TCS's que son permitidas.



En la siguiente figura V.16 se resumen los conceptos anteriores.

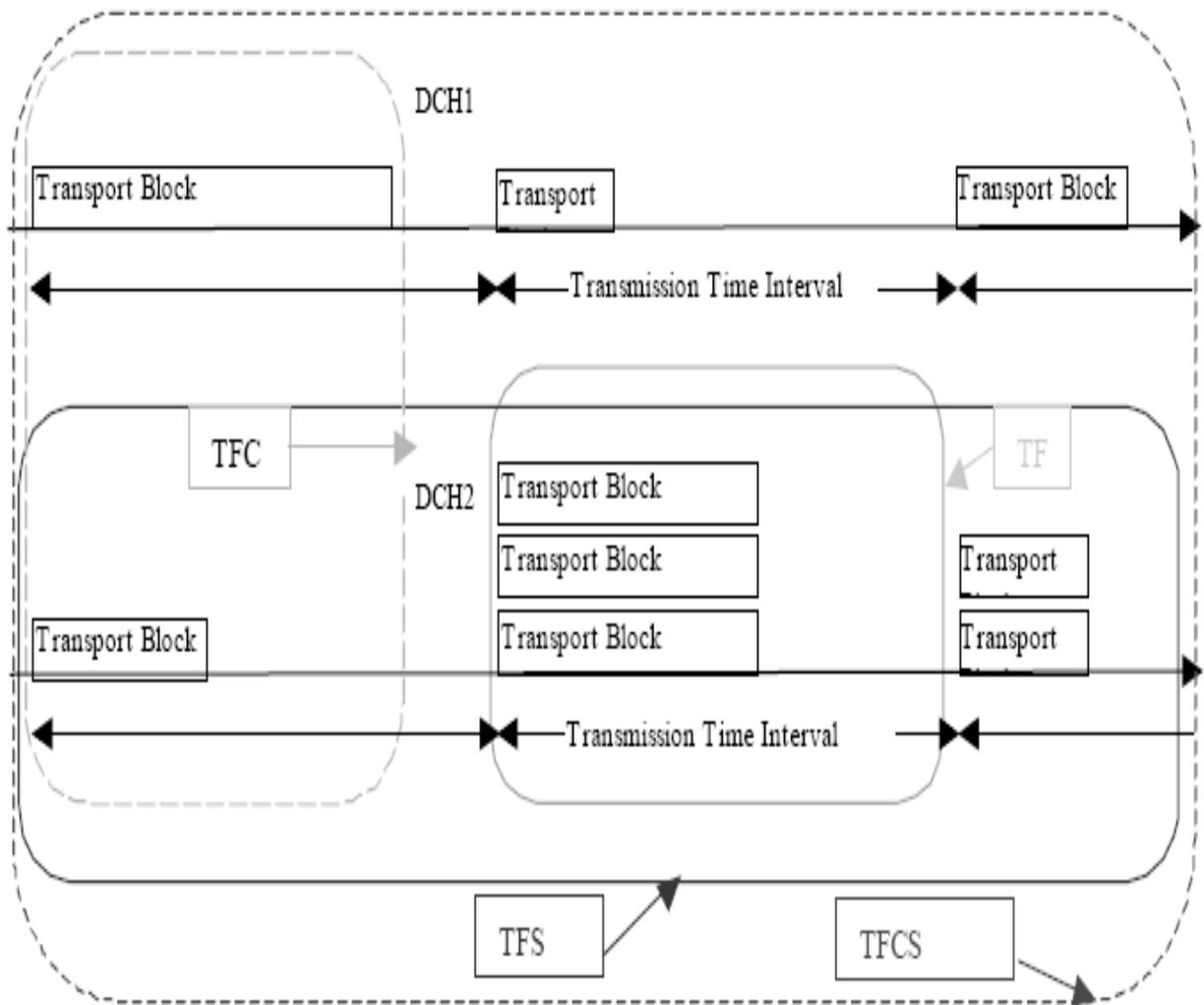


Figura V.16 Definición de conceptos de canales de transporte.

- **Indicador de Formato de Transporte:** Es una etiqueta para un formato de transporte específico dentro de un conjunto. Se utiliza en la comunicación entre las capas MAC y física cada vez que se intercambia un TBS. Cuando se asocia el canal DSCH con un DCH el TFI del primero indica también el canal físico (código de canalización) del DSCH que tiene que escuchar el UE.
- **Indicador de la Combinación de Formatos de Transporte:** Se utiliza para informar de que combinaciones de formatos de transporte son válidas e indicar al receptor como decodificar, demultiplexar y traspasar los datos a los correspondientes canales de transporte. La capa MAC indica el TFI a la capa 1 en cada transmisión de un TBS. La capa 1 construye el TFCI a partir de los TFI's de los canales, procesa los bloques de transporte y añade el TFCI a la señalización de control (canal físico DPCCCH). Puede utilizarse detección ciega (omitir la señalización TFCI) para algunas combinaciones de formatos de transporte.



En la siguiente figura V.17 se muestra un esquema de cómo funciona la construcción del TFC:

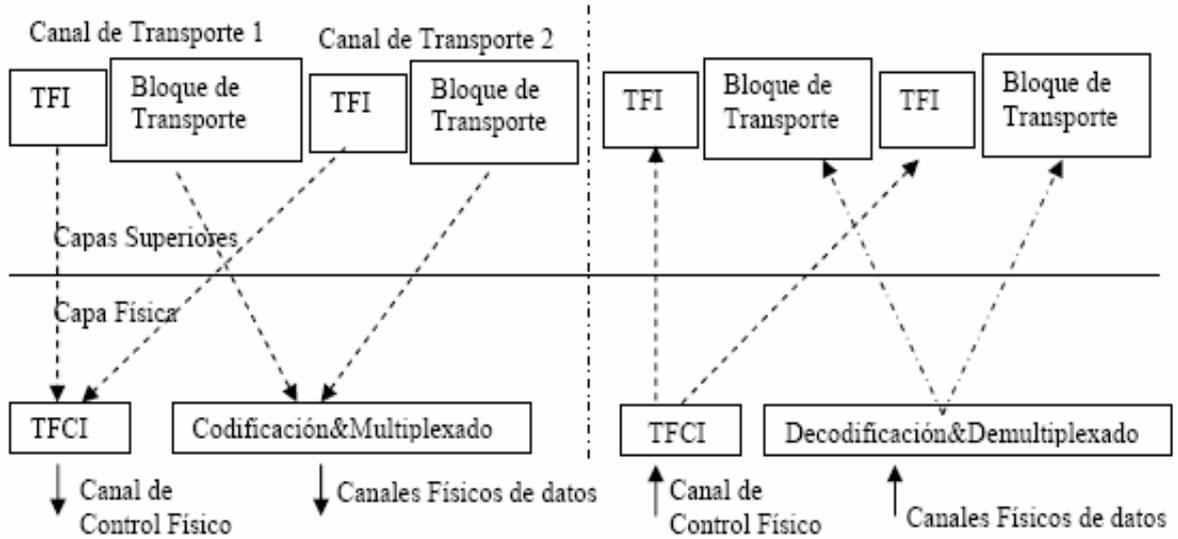


Figura V.17 Canales de transporte y mapeado a canales físicos.

Cuando el significado del TFCI necesita ser reconfigurado hay dos procedimientos para ello que son:

- Reconfiguración completa del TFCI: Todos los valores del TFCI son reinicializados y nuevos valores son definidos en su lugar. Necesita una sincronización explícita entre la UTRAN y el UE.
- Reconfiguración incremental: Una parte de los valores de TFCI antes y después de la reconfiguración permanecen igual. Este procedimiento soporta añadir, quitar o redefinir valores de TFCI. No requiere un tiempo explícito de ejecución y puede implicar la pérdida de datos de usuario.

V.3.1.1.3. TIPOS DE CANALES DE TRANSPORTE.

Existen dos tipos de canales de transporte: comunes y dedicados. La diferencia entre ellos se encuentra en que los primeros se caracterizan por ser un recurso repartido entre un grupo de usuarios en una celda (usan direccionamiento explícito) mientras que los dedicados son recursos dedicados, identificados por un código y una cierta frecuencia (direccionamiento inherente al UE).

Canales Dedicados de Transporte.

Sólo existe un canal dedicado de transporte denominado DCH (Dedicated Channel) para la Release99. Se utiliza para transportar toda la información relacionada con las capas superiores (datos y señalización de las capas superiores) en modo circuito (para paquetes pueden usarse varios).



Se caracteriza por:

- Canal bidireccional (UL y DL).
- Puede ser transmitido sobre toda o parte de una célula usando antenas adaptativas.
- Admite control de potencia rápido en bucle cerrado (1500 Hz de frecuencia máxima de órdenes de control de potencia, resultante de enviar un comando por intervalo).
- Soporta soft-handover.
- Posibilidad de usar sincronización en el uplink.
- Posibilidad de cambiar la tasa de bits de forma rápida de una trama a otra (cada 10 ms).

Canales Comunes de Transporte.

Hay seis canales de transporte comunes definidos para la UTRAN que son: BCH, FACH, PCH, RACH, CPCH y DSCH. No soportan soft-handover aunque algunos de ellos pueden tener control de potencia rápido.

- Canal de Difusión BCH (Broadcast Channel): Canal de transporte descendente (DL) que se usa para difundir información del sistema UTRA y de la célula concreta. La información más típica que se transmite por este canal son los códigos y slots de acceso en la celda, los tipos de métodos de diversidad de transmisión usados por los canales en la celda, etc. Como los terminales no pueden registrarse en la red si no pueden decodificar este canal debe de transmitirse con una potencia elevada en toda la celda para alcanzar toda la zona de cobertura. La tasa de bits de este canal está limitada por la capacidad de terminales de baja velocidad de decodificación lo que resulta en un canal de tasa baja y fija. Tiene un formato de transporte simple.
- Canal de Paging PCH (Paging Channel): Es un canal de transporte descendente (DL) que se utiliza para transmitir toda la información relacionada con el procedimiento de paging (cuando la red desea establecer una comunicación con el terminal). Los terminales deben de recibir la información de paging en toda la celda. El diseño del canal de paging afecta el consumo de potencia de la terminal en el modo standby (cuanto menos escuche el terminal este canal más durará su batería). La transmisión del PCH se asocia a un canal de la capa física PICH que transporta los PI paging indicators para soportar procedimientos mode-sleep.
- Canal FACH (Forward Access Channel): Es un canal de transporte descendente (DL) que se utiliza para transportar información de control a los terminales localizados en una celda dada (se transmiten pequeñas cantidades de datos y se usa entre otras cuestiones para responder por ejemplo a un acceso aleatorio, dar información relativa a un servicio y de un canal físico). Se transmite en toda la celda o parte de ella utilizando antenas adaptativas. Su tasa de bits es baja para que pueda ser decodificado por todos los terminales en la celda. Puede usarse un control de potencia lento en este canal aunque no es posible utilizar el rápido. Puede cambiarse su tasa de una trama a otra y puede haber más de un canal FACH en la celda (en este caso los sucesivos canales FACH pueden tener una tasa de bits mayor). Los mensajes transmitidos en este canal deben usar identificación en banda para permitir su recepción correcta.



- Canal DSCH (Downlink Shared Channel): Es un canal de transporte descendente (DL) que se utiliza para transportar datos de usuario dedicados e información de control que puede ser compartido por varios usuarios. Este canal se asocia a uno o varios DCH's en el modo FDD (en TDD es posible asociarlo al FACH). Soporta el control de potencia lento y rápido cuando está asociado a un canal dedicado. Se puede transmitir sobre toda la celda o parte de ella usando antenas adaptativas. Presenta la posibilidad de variar su tasa de bits de una trama a otra.
- Canal de Acceso Aleatorio RACH (Random Access Channel): Es un canal de transporte ascendente (UL) que se utiliza para transportar información de control desde el terminal (solicitar el establecimiento de una conexión). Puede usarse para enviar pequeñas cantidades de paquetes de datos desde el terminal a la red. Este canal debe ser escuchado por la estación base desde cualquier punto del área de cobertura por lo que la tasa de datos deben ser bajas. El campo datos está limitado y se caracteriza por soportar control de potencia en bucle abierto y estar sometido a colisiones.
- Canal de Paquetes Uplink Común CPCH (Common Packet Channel): Es un canal de transporte ascendente basado en contienda (UL) que se utiliza para transportar ráfagas de tráfico. Este canal se asocia a un canal dedicado en el downlink que proporciona el control de potencia y los comandos de control para este canal. Se caracteriza por una colisión inicial y puede ser transmitido con el control de potencia rápido en el mensaje. En el preámbulo y su incremento puede utilizarse el control de potencia en bucle abierto. Se transmite en toda la celda o en parte de ella utilizando antenas adaptativas. Presenta la posibilidad de cambiar la tasa de bits de una trama a otra.

Los canales RACH, FACH, BCH y PCH son obligatorios para el funcionamiento de la red mientras que el DSCH y el CPCH son opcionales.

V.3.1.1.4. FUNCIONES DE LA CAPA FÍSICA.

V.3.1.1.4.1. FUNCIONES DEL SUBNIVEL FÍSICO.

Las funciones son las siguientes:

- 1) Procesado de los Canales Físicos.

Cada canal tiene un procesado diferente. Este consiste en los siguientes pasos que se realizan a nivel de time slot:

- Multiplexado en tiempo de los datos y bits de control. Los bits de datos provienen de la subcapa de transporte, mientras que los bits de control es señalización de la capa física (forward y feedback control bits). Este paso se realiza en el downlink ya que en el uplink se envían en paralelo.
- Modulación NRZ. Consiste en asociar una señal en banda base a la información en bits que proviene del paso anterior. Asocia a los bits "+1" y a los bits DTX en downlink un valor "0" y a los "-1" un valor "1".
- Conversión Serie-paralelo. Se utiliza en el downlink en todos los canales (excepto en el SCH) para asociar cada par de símbolos consecutivos en las ramas I y Q.



- Ensanchamiento de la señal (Spreading). Consiste en los procesos de canalización y scrambling:
 - Canalización. Consiste en aplicar un código específico transformando cada símbolo en un número de chips incrementando el ancho de banda de la señal. Permite utilizar la misma frecuencia y timeslot para diferentes canales físicos. El número de chips por símbolo recibe el nombre de factor de spreading SF.
 - Scrambling. Se utiliza para diferenciar los transmisores y evitar multitrayectos. Consiste en transformar la secuencia original en una encriptada con la misma tasa de chips.
- Multiplexado de canales físicos. Es la suma de las contribuciones de cada uno de los canales. En el uplink sólo se utiliza para los canales DPDCHs y DPCCH.
- Modulación Analógica. Consiste en trasladar la señal a una frecuencia alrededor de los 2 Ghz para su transmisión al aire.

En las siguientes figuras (V.18 y V.19) se observan los pasos para el uplink y downlink:

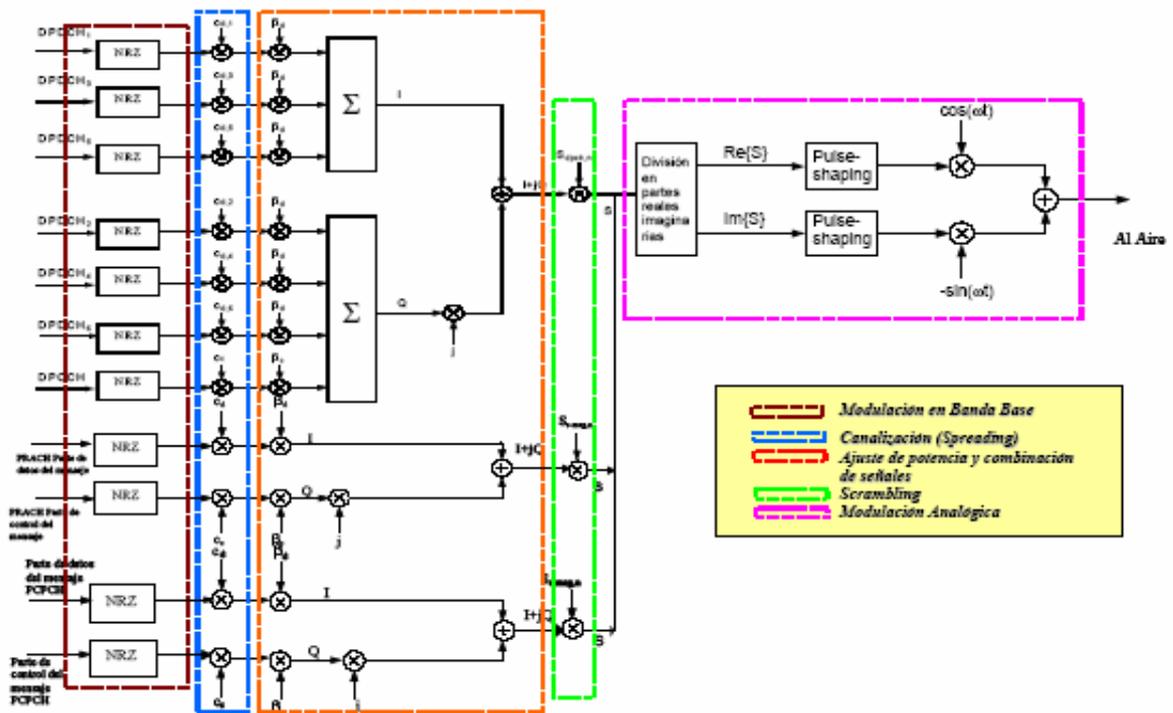


Figura V.18 Procesado de los canales físicos en el Uplink.

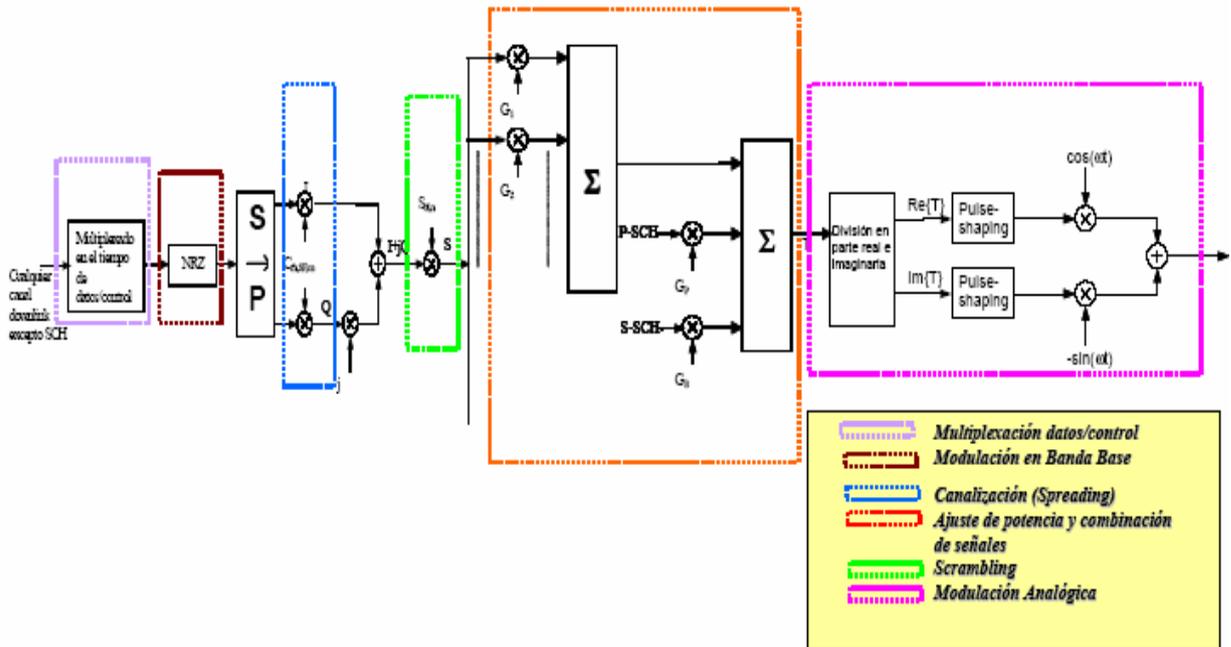


Figura V.19 Procesado de los canales físicos en el Downlink.

2) Medidas.

Se encarga de realizar medidas y dar una indicación de las mismas a las capas superiores. Entre estas medidas cabe resaltar la tasa de error de bloques BLER del canal de transporte, la potencia recibida en un código CPICH RSCP (Received Signal Code Power) (Código de Señal Recibida) y la SIR (Signal Interference Ratio) (Tasa de Interferencia de Radio).

3) Control de potencia en Bucle Cerrado.

En la figura V.20 se observa que los usuarios que están situados a diferentes distancias de la estación base, teniendo por lo tanto unas pérdidas de propagación distintas. Si todos emiten con la misma potencia, las señales de los emisores más cercanos llegarían a la estación base con más potencia que las de los lejanos, quedando estas últimas enmascaradas, es decir, empeoraría su recepción aunque no serían eliminadas. Este efecto se le conoce con el nombre de Efecto Cerca-Lejos.



Figura V.20 Efecto Cerca- lejos.

Para resolver este problema es preciso utilizar técnicas de control de potencia, de forma que todas las señales lleguen a la estación base con el mismo nivel de potencia. Esto se



consigue haciendo que cada usuario emita con una potencia distinta en función de su distancia, condiciones de propagación y carga del sistema. Al utilizar control de potencia, se reduce la interferencia y por lo tanto se maximiza la capacidad total del sistema y además se reduce el consumo de los terminales móviles que se encuentren más cerca de la estación base. El control de potencia debe tener tres características: exactitud (del orden de 1 dB), rapidez para compensar los desvanecimientos, y un gran rango dinámico para controlar móviles cercanos y alejados.

Hay dos tipos de algoritmos de control de potencia en UMTS:

- **Bucle Abierto (Open Loop Power Control):** Se produce cuando un usuario decide acceder al sistema. Inicialmente, este nuevo usuario no estará controlado en potencia, con lo cual accederá al sistema con un nivel de potencia inicial que será una variable aleatoria. Si esta potencia inicial no es suficiente para ser atendido, la incrementará a intervalos constantes en dB, hasta que reciba confirmación de la estación base de que su señal ha sido recibida. Si desde un primer momento la potencia hubiera sido excesiva, habría entrado directamente a ejecutar los algoritmos de control de potencia.
- **Bucle Cerrado (Closed Loop):** Se realiza en los dos enlaces. En el uplink el RNC establece la BER para el servicio solicitado y a partir de ella calcula la SIR objetivo enviándosela al Nodo B. El Nodo B estima la SIR en el UL y la compara con la recibida determinando si la potencia del móvil debe ser incrementada o decrementada (esto lo hace con los bits de TPS). Esta operación se realiza 1500 veces por segundo y recibe el nombre de Inner Loop. Por otro lado cada 10 ms el RNC calcula la SIR y ajusta la SIR objetivo. A este proceso se le conoce con el nombre de Outer Loop y es controlado por la capa RRC. En el downlink los usuarios reciben distinta interferencia de las demás células en función de su posición, y por lo tanto hay que variar las potencias para tener una relación señal interferencia (S/I o SIR) fija (esta situación se da por ejemplo en el borde celular). En este caso el UE manda los bits TPC al Nodo B en función de la SIR estimada y de la que tiene como objetivo. En la figura V.21 se muestra el procedimiento.

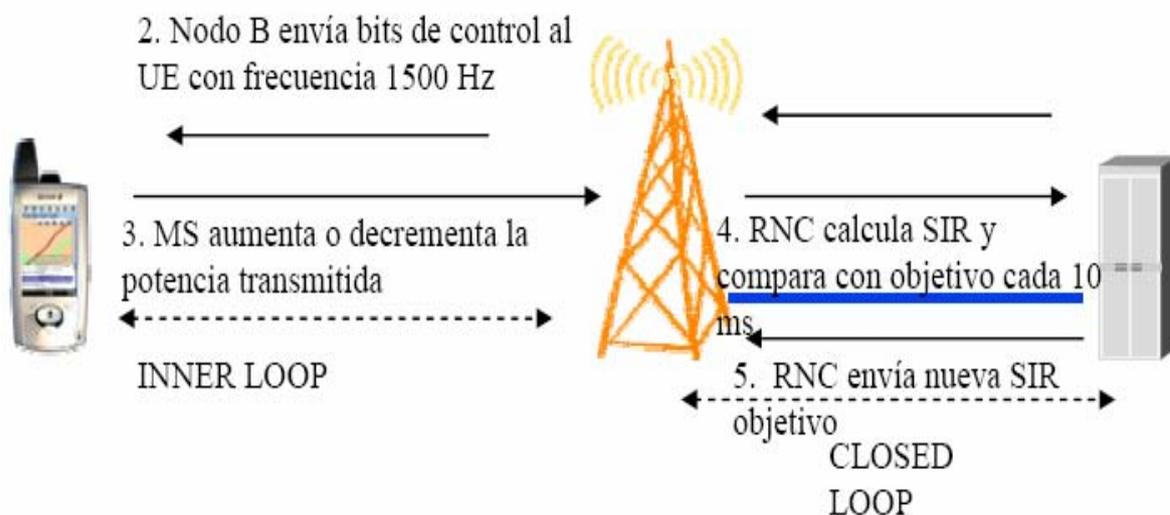


Figura V.21 Control de Potencia en Bucle Cerrado.

4) Sincronización de trama y frecuencia.



La sincronización se logra “enganchándose” a los bits de sincronismo que emite el sistema a través del canal SCH. Además el sistema puede permanecer sincronizado gracias a la realimentación que se realiza para no perder el sincronismo. En el enlace descendente se puede enviar una señal para que los receptores móviles estén sincronizados en recepción.



V.3.1.1.4.2. FUNCIONES DEL SUBNIVEL DE TRANSPORTE.

Los datos llegan al subnivel de transporte en forma de bloques de transporte una vez por cada intervalo de transmisión. Éste depende del canal de transporte específico y puede tomar valores de 10, 20, 40 u 80 ms. En la figura V.22 se muestra el procesado de los canales de transporte tanto en UL como en DL.

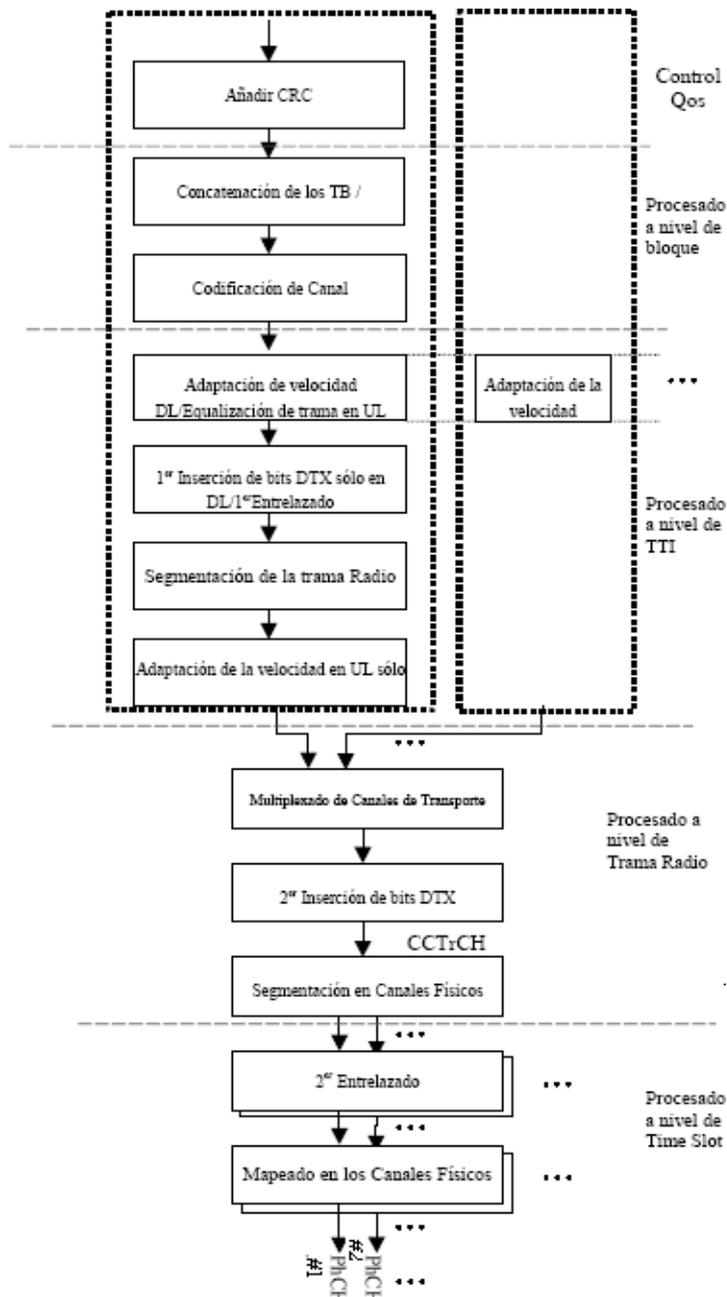


Figura V.22 Procesado de los canales de transporte.



- Adición del CRC: El CRC (Cyclic Redundancy Check) (Revisión de Redundancia Cíclica) está formado por un conjunto de bits que se añaden al bloque de transporte con objeto de detectar posibles errores. El tamaño del CRC puede ser de 24, 16, 12, 8 o bits y su tamaño es indicado por las capas superiores a la capa física para cada canal de transporte.
- Concatenación de los bloques de transporte y segmentación de los bloques: La concatenación se utiliza cuando más de un bloque de transporte es enviado por la capa superior en el mismo canal de transporte durante un TTI. La función de concatenación coloca juntos todos los bits correspondientes al mismo.
- Codificación de canal: El propósito de la codificación de canal es proteger la información en contra de la distorsión del canal (ruido, interferencias, multipropagación, etc.) para mejorar la calidad de la transmisión. Consiste en añadir unos bits de redundancia (el número de bits es multiplicado por 2 ó 3) a los bits de la fuente. Dependiendo de la QoS requerida en términos de BER y retraso se utilizan diferentes esquemas de codificación. Los esquemas de codificación que se utilizan son: convolucional, turbo coding y no usar codificación. La codificación convolucional es más simple que el turbo coding y presenta un retraso de proceso menor aunque ofrece peor protección que el turbo coding. La utilización de cada esquema y tasa de codificación para los diferentes canales de transporte se muestra en la tabla V.1.

Canal de transporte	Codificación	Tasa de codificación
BCH	Convolucional	1/2
PCH		
RACH		
CPCH, DCH, DSCH, FACH		1/3, 1/2
	Turbo Código	1/3
	Sin codificación	

Tabla V.1 Canales de Transporte

- Ecuación de la trama radio: La ecuación de la trama radio consiste en rellenar la secuencia de bits de entrada para asegurar que la salida se puede segmentar en un número entero de segmentos de datos del mismo tamaño en el bloque de segmentación de la trama radio. Se realiza sólo en el enlace ascendente, puesto que en el descendente el bloque de adaptación de velocidad se encuentra en este punto de la cadena y ya proporciona a su salida un múltiplo entero de segmentos de datos.
- 1^{er} Entrelazado: Consiste en ensanchar los bits de todas las tramas radio que se corresponden a un TTI para mejorar la calidad de la transmisión. Si ocurre un error en la transmisión las pérdidas son repartidas entre todas las tramas y la corrección resulta mejor. Este entrelazado se realiza sólo en los bits que corresponden al mismo canal de transporte.
- Segmentación de la trama radio: Cuando el intervalo de transmisión es superior a 10 ms (el tamaño de trama), la secuencia de bits de entrada se segmenta y asocia a tramas radio consecutiva.
- Adaptación de velocidad/Rate Matching: Sirve precisamente para adaptar la velocidad binaria original de los canales de transporte a la velocidad binaria de los



canales físicos. Así, los bits de los canales de transporte se repiten o se eliminan de forma selectiva (puncturing). La adaptación de velocidad es semiestática y en qué medida hay que realizarla o no, viene indicado por niveles superiores. La idea es que todos los canales físicos (excepto el CCPCH) ofrece la posibilidad de soportar diferentes tasas binarias cambiando el factor de spreading SF. Se trata entonces de elegir el SF que permite obtener la tasa binaria de datos que es casi igual que los requerimientos del canal de transporte y minimiza la interferencia. En general será el mayor SF posible que permitirá la menor tasa binaria.

- Multiplexión de los canales de transporte: Los canales de transporte codificados se multiplexan en serie, es decir, en el tiempo, sobre una trama radio. Así, cada 10 ms una trama radio procedente de cada uno de los canales de transporte, entra al bloque de multiplexación.
- Inserción de los bits de indicación de transmisión discontinua (DTX, *discontinuous transmission*): Los bits de indicación de transmisión discontinua no se transmiten, sólo indican cuándo se debe interrumpir la transmisión, y sólo en el enlace descendente. Los niveles superiores deciden si los bits de indicación DTX se insertan en posiciones fijas o flexibles. En la primera inserción de los bits de indicación DTX, éstos se insertan en posiciones fijas, de forma que en cada trama radio se reserva un número fijo de bits para cada canal de transporte.
- Segmentación de los canales físicos: Cuando se utiliza más de un canal físico, es en este bloque en el que se dividen los bits entre los distintos canales físicos.
- Mapeado a canales físicos: Los bits se asocian a los canales físicos de forma que para cada canal físico los bits se transmiten en orden ascendente. El mapeado entre los diferentes tipos de canales físicos y canales de transporte se muestra en la figura V.23.

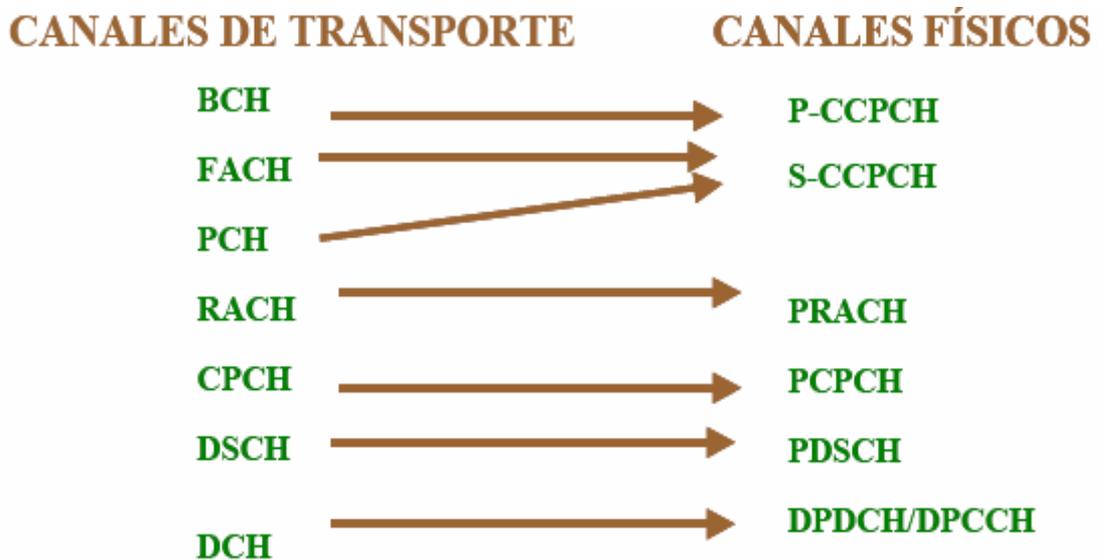


Figura V.23 Mapeado de los Canales de Transporte en Canales Físicos.



Ejecución del Soft-Handover y Macrodiversidad.

El traspaso con continuidad o Soft Handover permite realizar un traspaso de una célula a otra sin cambiar de modo (FDD/TDD) ni de portadora de tal manera que la llamada no se corta. El traspaso se hace antes de que esto ocurra y como además se trabaja en la misma banda de frecuencias no se producen microcortes. Esto es así gracias a que se establece una conexión en paralelo. Otra modalidad de traspaso con continuidad es el softer handover, que consiste en el traspaso entre sectores pertenecientes a una misma estación base. Los dos sectores utilizan las mismas frecuencias y el traspaso con continuidad se realiza en la frontera entre dos sectores adyacentes. Por último cabe decir que cuando se produce un traspaso de una celda a otra y se cambia la portadora, el modo (FDD/TDD), el operador, el sistema (GSM) o no hay Iur entre los RNCs que la controlan se produce un traspaso sin continuidad que se conoce con el nombre de hard handover.

Para llevar a cabo el traspaso con continuidad se emplean técnicas de macrodiversidad/microdiversidad que permiten la comunicación simultánea de un móvil con varios Nodos B o bien con varios sectores de un Nodo B. Cuando se utiliza la técnica de macrodiversidad los RNC's involucrados tienen funciones distintas hablándose de:

- SRNC (Serving RNC): Es el que termina el Iu para un UE. Un UE conectado a la UTRAN sólo tiene un SRNC. Realiza las funciones de la gestión de los recursos radio.
- DRNC (Drift RNC): Es cualquier RNC utilizado por el UE distinto al SRNC. No realiza el procesamiento de la capa 2 y transporta los datos de forma transparente en el Iub e Iur. Un UE puede tener uno, varios o ningún DRNC.
- CRNC (Controlling RNC): Es el RNC que controla al Nodo B.

La Macrodiversidad/Microdiversidad se realiza mediante dos funciones:

- Combinación (Combinig): Consiste en combinar los bloques de transporte recibidos de las celdas que forman el active set en un sólo flujo simple de bloques de transporte.
- División (Splitting): Consiste en duplicar los bloques de transporte recibidos y difundirlos por los Nodos B que forman el active set.

En la figura V.24 se muestra cómo funciona la macrodiversid/microdiversidad.

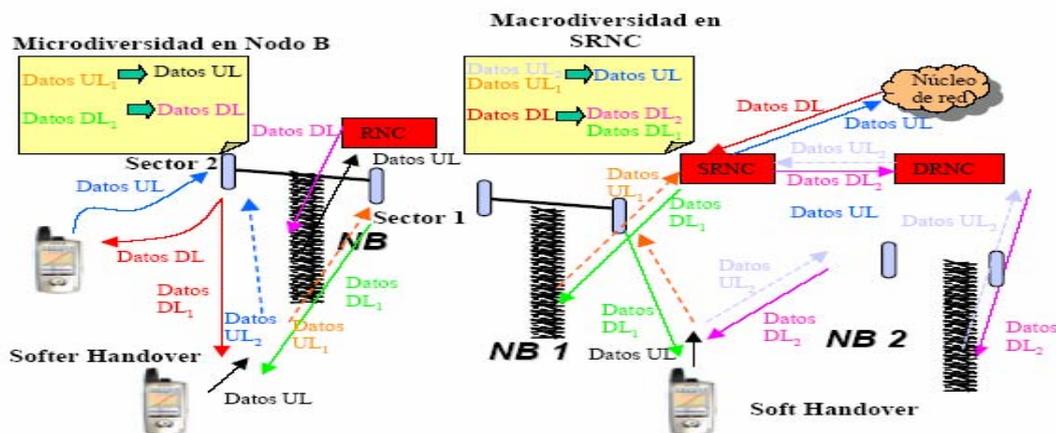




Figura V.24

V.3.1.2. CAPA MAC.

V.3.1.2.1. ARQUITECTURA DE LA CAPA MAC.

El subnivel MAC se describe a partir de las entidades MAC. Las entidades se ven en la figura V.25.

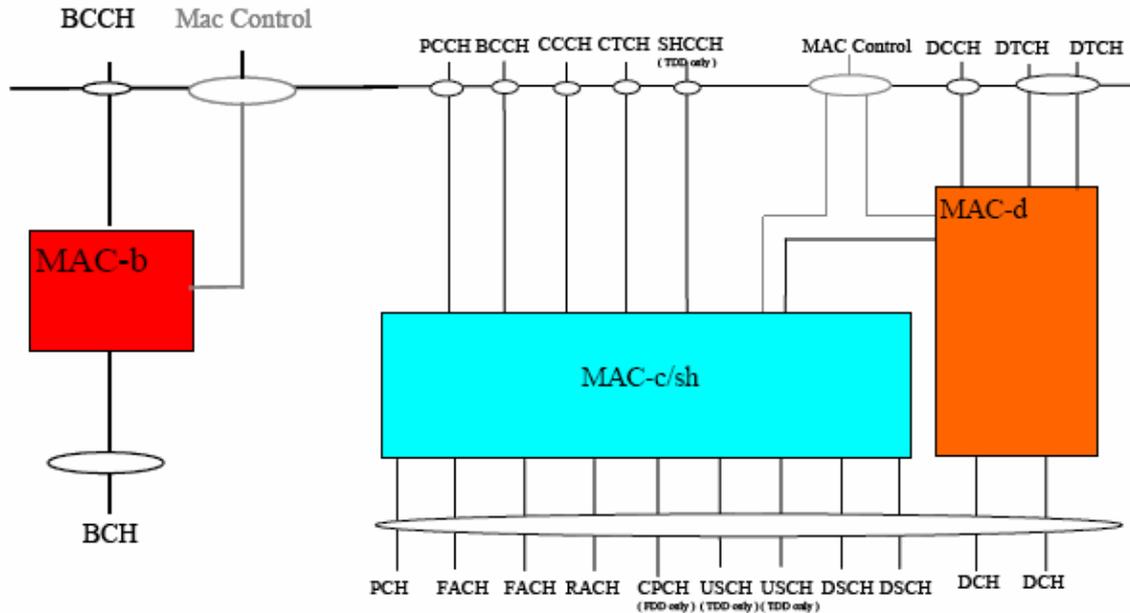


Figura V.25 Arquitectura de la capa MAC.

- MAC-b: Entidad que maneja el canal de transporte BCH. Hay una entidad en el UE y una por cada celda de la UTRAN (se encuentra localizada en el Nodo B). El punto de acceso al servicio de control de la capa MAC se utiliza para transferir información de control a la MAC-b.
- MAC-c/sh: Entidad que maneja los siguientes canales de transporte comunes PCH, FACH, RACH, y los compartidos CPCH (sólo FDD), DSCH y USCH (sólo TDD). Hay una sola entidad MAC-c/sh en cada móvil y una sola entidad MAC-c/sh en cada celda de la UTRAN.
- MAC-d: Maneja los canales de transporte DCH. Hay una sola entidad MAC-d en cada móvil y una sola entidad MAC-d en la UTRAN por cada UE que tiene uno o más canales lógicos dedicados hacia o desde la UTRAN.

Cada una de estas tres entidades es accedida desde la capa RLC usando los canales lógicos e intercambian los datos con la capa física mediante los canales de transporte.

Esta subcapa está conectada a la capa RRC mediante los SAP's de control. Estos puntos de acceso al servicio son utilizados por la capa RRC para configurar la MAC para los procedimientos de transferencia de datos y medidas. Las funciones exactas que realizan las diferentes entidades son ligeramente diferentes en el UE que en la UTRAN.



V.3.1.2.2. SERVICIOS DE LA CAPA MAC.

Los servicios que ofrece la capa MAC a las superiores son los siguientes:

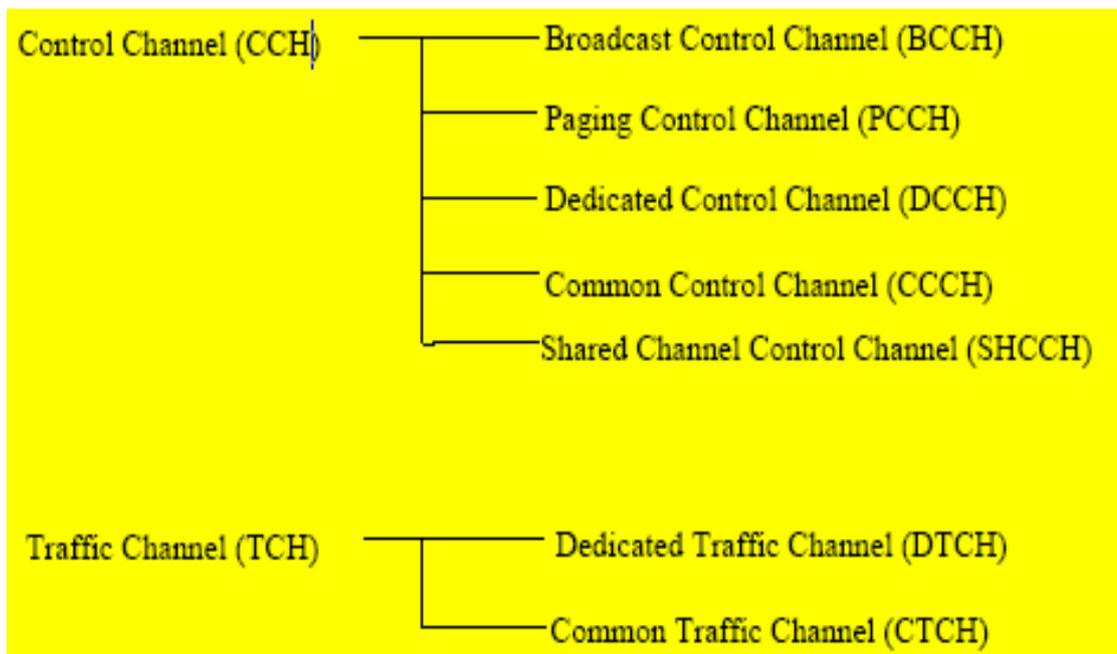
- Servicios proporcionados a través de los SAP's de Control:
 - Reasignación de recursos radio y parámetros MAC. Realiza la reasignación de los recursos radio y cambios de los parámetros de la MAC a petición de la capa RRC (cambio de la identidad del UE, cambio del formato de transporte, tipo de canal de transporte).
 - Informe de medidas. Medidas locales como el volumen de tráfico y la calidad son reportados a la capa RRC para la gestión de los recursos radio.
- Servicios proporcionados a través de los SAP's de Datos:
 - Transferencia de datos: Proporciona una transferencia de SDU's entre capas MAC's de entidades parejas sin ninguna confirmación ni segmentación. Las funciones desegmentación/reensamblado deben ser llevados a cabo por las capas superiores. La capa MAC ofrece estos servicios a las capas superiores a través de los canales lógicos. Cada tipo de canal lógico se define en función del tipo de información que transfieren. Se definen dos tipos de canales lógicos en función de los servicios de transferencia de datos que se ofrecen. La clasificación de los canales lógicos es la siguiente:

Canales de Control para la transferencia de información en el plano de control y que son:

- **Broadcast Control Channel (BCCH).** Es un canal descendente que difunde todos los mensajes de información del sistema (excepto el 14 que se utiliza sólo en el modo TDD). En los mensajes de información del sistema se transmiten todos los parámetros del mismo como la identidad de la red y de la celda, la máxima potencia para acceder al sistema, información de la frecuencia, etc.
- **Paging Control Channel (PCCH).** Es un canal descendente que transfiere información de paging. Este canal lo utiliza la red para alcanzar uno o varios UE's cuando no conoce su localización o bien se encuentra en los estados Cell_FACH y URA_PCH del modo conectado.
- **Common Control Channel (CCCH).** Canal bidireccional para la transmisión de información de control entre la red y los UE's. Se utiliza para enviar mensajes de peticiones de conexiones RRC, de actualización de UTRAN y celda. El móvil lo utiliza siempre que no es conocido por la red o por la celda.
- **Dedicated Control Channel (DCCH).** Canal bidireccional que transmite información de señalización dedicada de control entre un UE y la red. Este canal se utiliza después de establecer una conexión RRC (el móvil ha recibido una identificación temporal). Se utiliza en procedimientos de handovers inter-frecuencia, pagings dedicados, actualización del active-set y control y reporte de medidas.



- **Shared Channel Control Channel (SHCCH).** Canal bidireccional que transmite información de control para los canales compartidos en el UL y DL entre la red y los UE's. Este canal es sólo para el modo TDD. Canales de Tráfico para la transferencia de información en el plano de usuario.
- **Dedicated Traffic Channel (DTCH).** Canal punto-punto dedicado UL/DL para la transferencia de información de usuario (voz, datos por conmutación de circuitos o paquetes) entre un UE y la red.
- **Common Traffic Channel (CTCH).** Es un canal unidireccional punto-multipunto para la transferencia de información para todos o un grupo de UE específicos. Se utiliza para transmitir los mensajes BMC (servicios ofrecidos por el operador como la información del tiempo, tráfico, localización, etc.).





V.3.1.2.3 FUNCIONES DE LA CAPA MAC.

Las funciones de la capa MAC se dividen en dos tipos: las relacionadas con el formateo de los datos y aquellas relacionadas con procesos específicos de la misma como la monitorización del volumen de tráfico y el procedimiento de acceso.

Funciones relacionadas con el formateo de los datos:

- Mapeado entre los canales lógicos y canales de transporte.

En la tabla V.2 se muestra el mapeado entre los canales lógicos y de transporte:

Canal	Conectado a
BCCH	BCH, puede al FACH
PCCH	PCH
CCCH	RACH y FACH
SHCCH	RACH, USCH/FACH y DSCH
DTCH	RACH y FACH, CPCH y FACH, RACH y DSCH, DCH y DSCH, o DCH y DCH
CTCH	FACH
DCCH	RACH y FACH, CPCH y FACH, RACH y DSCH, DCH y DSCH, o DCH y DCH

Tabla V.2

- Selección del formato de transporte adecuado del conjunto de combinaciones (TFCS) para cada canal de transporte dependiendo de su velocidad instantánea.
- Manejo de la prioridad entre flujos de datos de un UE. Las prioridades vienen dadas por los atributos de los servicios de las portadoras radio y por el estado del buffer del RLC. Se consigue seleccionando formatos de transporte en los que datos de alta prioridad se mapean en la capa física en un formato de alta velocidad mientras que para datos de baja prioridad se utilizan formatos de baja velocidad.
- Manejo de la prioridad entre terminales móviles utilizando una programación dinámica. Puede utilizarse una programación dinámica para los canales comunes y compartidos FACH y DSCH. Para los canales dedicados esta función se incluye como una parte de la función de reconfiguración de la capa RRC.
- Identificación de los terminales móviles en los canales comunes de transporte. Cuando un canal de transporte FACH, RACH o CPCH transporta datos de canales lógicos dedicados es necesario identificar a los UE's lo que se consigue mediante el C-RNTI o el U-RNTI en la cabecera de las MAC-PDU's (campos UE-id y UE-type).



- Multiplexación/Demultiplexación de PDU's de las capas superiores en/desde bloques de transporte entregados a/desde la capa física en los canales comunes de transporte. La capa MAC maneja la multiplexación de servicios para los canales comunes RACH/FACH/CPCH. Esto es necesario ya que la capa física no puede llevar a cabo esta multiplexación. Se consigue mediante el campo C/T y TCTF de la cabecera.
- Multiplexación/Demultiplexación de PDU's de las capas superiores en/desde bloques de transporte entregados a/desde la capa física en los canales dedicados de transporte. La capa MAC permite la multiplexación de servicios con los mismos parámetros de QoS para los canales dedicados. Se consigue mediante el campo C/T y TCTF de la cabecera.
- Conmutación dinámica entre Canales de Transporte. A partir de la decisión tomada por la capa RRC conmuta entre canales comunes y dedicados de transporte.
- Cifrado. Si un canal lógico está utilizando el modo transparente RLC, el cifrado se realiza en la subcapa MAC (entidad MAC-d). La unidad de datos que es cifrada es la MAC SDU. El algoritmo de cifrado y la clave es configurado por la capa RRC.

Esta proporciona a la capa MAC los siguientes parámetros:

- Número de Hyper-trama.
- Portadora.
- Clave de cifrado.

En la figura V.26., se muestra como estas funciones son realizadas por las entidades involucradas para la transmisión de la información.

Funciones relacionadas con los procedimientos de la MAC

- Monitorización del volumen de tráfico. La capa MAC mide el volumen de tráfico de información y reporta el resultado a la capa RRC. Para ello compara la cantidad de datos correspondiente a un canal de transporte con los umbrales establecidos por la capa RRC y si es demasiado alto o bajo envía el reporte a la capa RRC. Estos reportes pueden ser enviados periódicamente a petición de la capa RRC.
- Control de las Transmisiones en el RACH. La capa MAC se encarga de las retransmisiones en el RACH basadas en el TTI (a nivel de trama radio están controladas por la capa física). Se encarga también de seleccionar la clase de servicio de acceso ASC para proporcionar diferentes prioridades en la utilización del RACH.

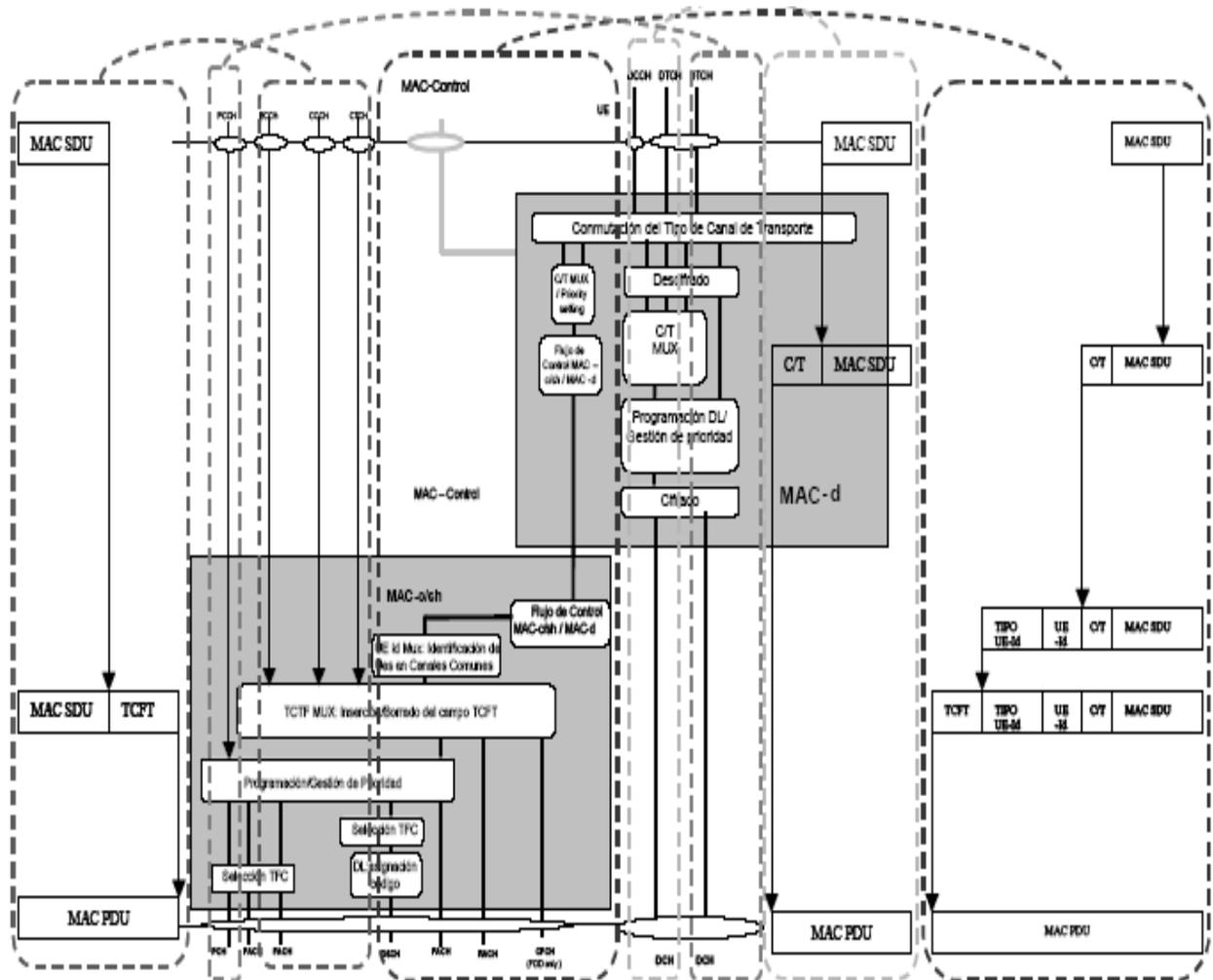


Figura V.26 Funciones relacionadas con el formateo de datos en la capa MAC.

V.3.1.3. CAPA RLC.

V.3.1.3.1. ARQUITECTURA DE LA CAPA RLC.

En la figura V.27., se muestra la arquitectura de la capa RLC. Está formada por tres entidades: modo transparente TM, modo sin confirmación UM y modo con confirmación AM. Puede verse esta capa como formada por dos partes: una transmisora y otra receptora que se encuentran en los planos de control y usuario. En los modos TM y UM hay una entidad transmisora y otra receptora mientras que en la AM hay una sola entidad que es transmisora y receptora. En este último caso pueden enviarse las unidades de protocolo PDU con información de control y datos en canales lógicos separados. Los servicios que ofrece la capa RLC a las superiores se les conoce con el nombre de portadora radio (señalización o datos). La capa RLC notifica los errores recuperables, para lo que en todos los modos la capa física calcula el CRC y notifica al LC el resultado de la comprobación.

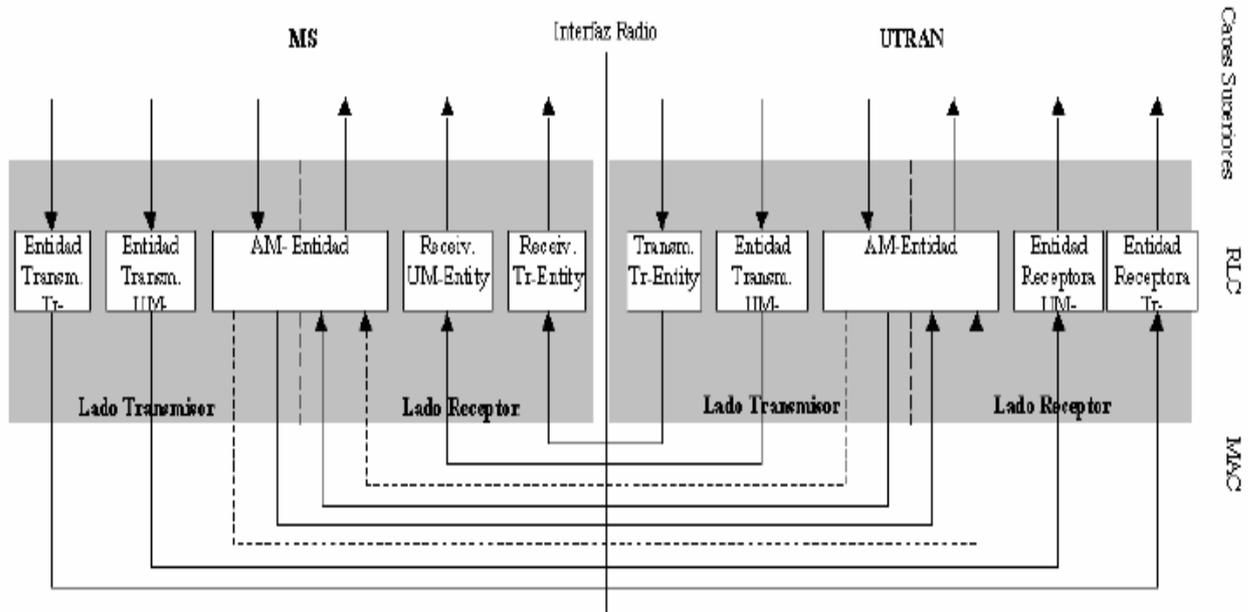


Figura V.27 Arquitectura de la capa RLC.

V.3.1.3.2. SERVICIOS Y FUNCIONES DEL MODO TRANSPARENTE TM DE LA CAPA RLC.

En este modo se proporciona un servicio de transferencia de datos en el que se transmiten las PDU's de las capas superiores sin añadirles ninguna cabecera. A este servicio se accede a través del punto de acceso al servicio transparente Tr-SAP. Opcionalmente se proporcionan las funciones de segmentación y reensamblado que deben ser negociadas en el establecimiento del portador radio.

La función de segmentación divide una RLC SDU en varias que encajan en el tamaño de las TMD PDU (unidad de datos del protocolo RLC en modo transparente). Todas las TMD PDU's pertenecientes a una RLC SDU son enviadas en el mismo TTI y ningún segmento de otra SDU RLC es enviada. Si no se utiliza segmentación entonces pueden enviarse varias RLC SDU's en un TTI colocándolas cada una en una TMD PDU. Todas las TMD PDU's deben ser del mismo tamaño.

La concatenación consiste en reensamblar todas las TMD PDU's recibidas en un mismo TTI. Las RLC PDU's son enviadas a la capa MAC a través de los canales BCCH, CCCH (sólo UL), DCCH, PCCH y SCCH en el plano de control y por el DTCH en el plano de usuario. Suele usarse este modo de funcionamiento con servicios de tipo streaming como la voz.



En este modo se realiza también la función de descarte de SDU's cuando expira un timer. En la figura V.28 se muestra las funciones para proporcionar este servicio.

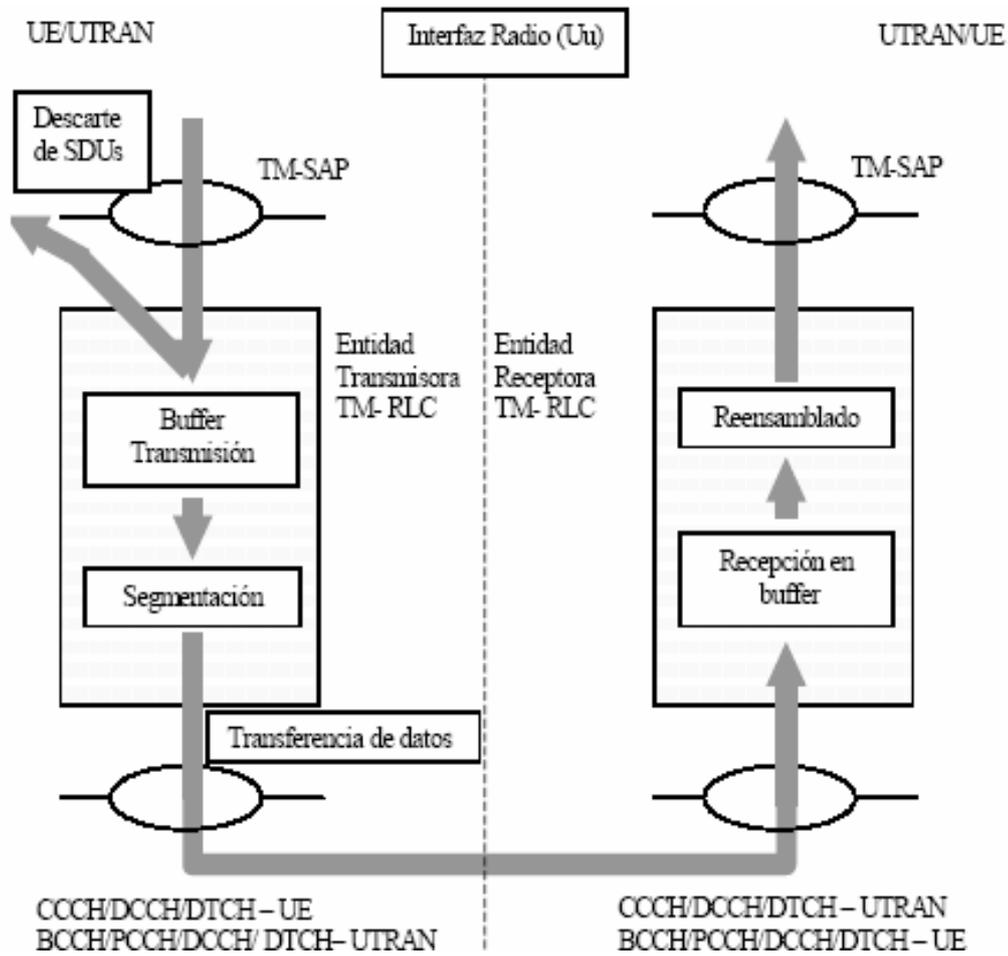


Figura V.28 Servicios y funciones del modo transparente TM de la capa RLC.



V.3.1.3.3 SERVICIOS Y FUNCIONES DEL MODO SIN CONFIRMACIÓN UM DE LA CAPA RLC.

A este servicio se accede a través del punto de acceso al servicio transparente UM-SAP. Este servicio es similar al anterior ya que no se dispone de ningún protocolo de retransmisión por lo que la entrada de los datos no está garantizada. La función de segmentación va acompañada de otras funciones que son la concatenación y el padding. Si el tamaño de la RLC SDU no se ajusta a un número entero de UMD PDU's (unidad de datos del protocolo RLC en modo sin confirmación) puede concatenarse el último segmento de una PDU RLC con el primer segmento de la siguiente. Si no puede aplicarse la concatenación y el tamaño de la RLC SDU no se ajusta a la de la PDU entonces puede insertarse bits de relleno. Para proporcionar esta funcionalidad se utiliza un campo en la cabecera de la UMD PDU denominado indicador de longitud. Otra función que se aplica en este modo es la detección de errores mediante la comprobación de otro campo que se incluye en la cabecera denominado número de secuencia. Si una PDU es errónea se descartan todas aquellas SDU's incluidas en la misma. Se proporciona también una función de cifrado y descifrado de los datos (se quita la cabecera). Las RLC PDU's son enviadas a la capa MAC a través de los canales CCCH (sólo DL), DCCH y SCCH en el plano de control y por el DTCH y CTCH en el plano de usuario. Suele usarse este modo de funcionamiento con servicios de tipo difusión en celdas y Voz/IP. En la figura V.29., se muestra las funciones para proporcionar este servicio.

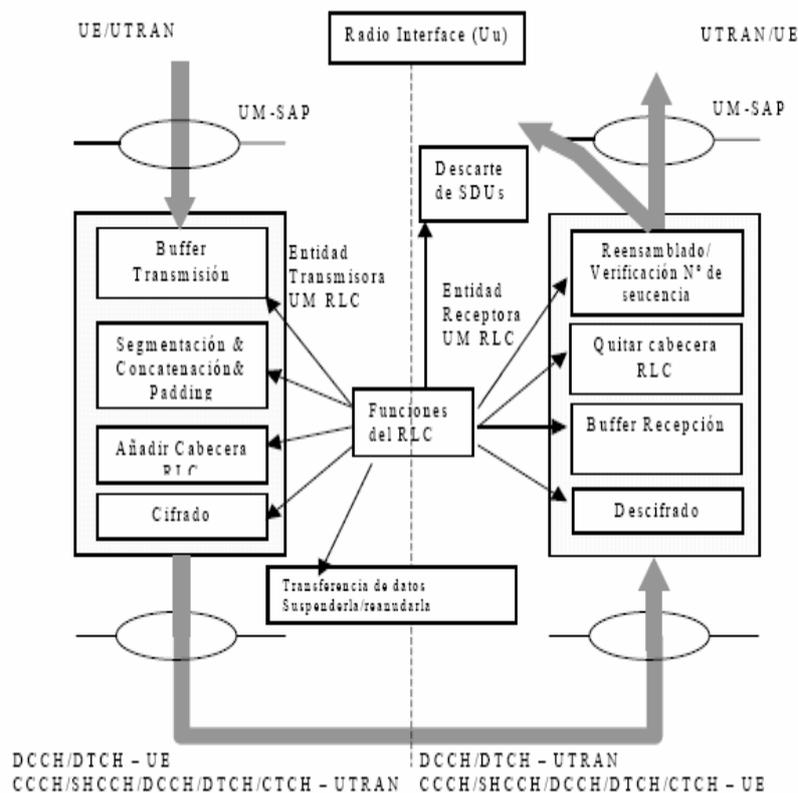


Figura V.29 Servicios y funciones del modo transparente UM de la capa RLC.



V.3.1.3.4. SERVICIOS Y FUNCIONES DEL MODO CON CONFIRMACIÓN DE LA CAPA RLC.

A este servicio se accede a través del punto de acceso al servicio transparente AM-SAP. Utiliza un mecanismo de petición de retransmisión automática ARQ proporcionando la funcionalidad de corrección de errores.

Igual que en el modo anterior la función de segmentación va acompañada de otras funciones que son la concatenación y el padding. La RLC SDU se concatena o se segmenta en unidades de carga PU (payload units) de tamaño estándar que se fijan cuando se establece una portadora radio por parte del RRC.

Para proporcionar esta funcionalidad se utiliza un campo en la cabecera de la UMD PDU denominado indicador de longitud.

Este puede indicar en este caso también la inclusión en los datos de los asentimientos (STATUS PDU) permitiendo la función de piggybacking.

En este modo puede configurarse el RLC para proporcionar la función de entrega en orden mediante la cual se preserva el orden de las PDU's o bien la entrega fuera de orden que entrega las PDU's tan pronto como son recibidas. Se permite también la función de control de flujo y detección de duplicados.

Las PDU's se almacenan en un buffer y pasan al MUX donde dependiendo de los asentimientos se determina cuando se entregan a la capa MAC.

Existen también las funciones de cifrado/descifrado. Suele usarse este modo de funcionamiento con servicios de tipo paquete como email o Internet beowsing. En la figura V.30., se muestra las funciones para proporcionar este servicio.

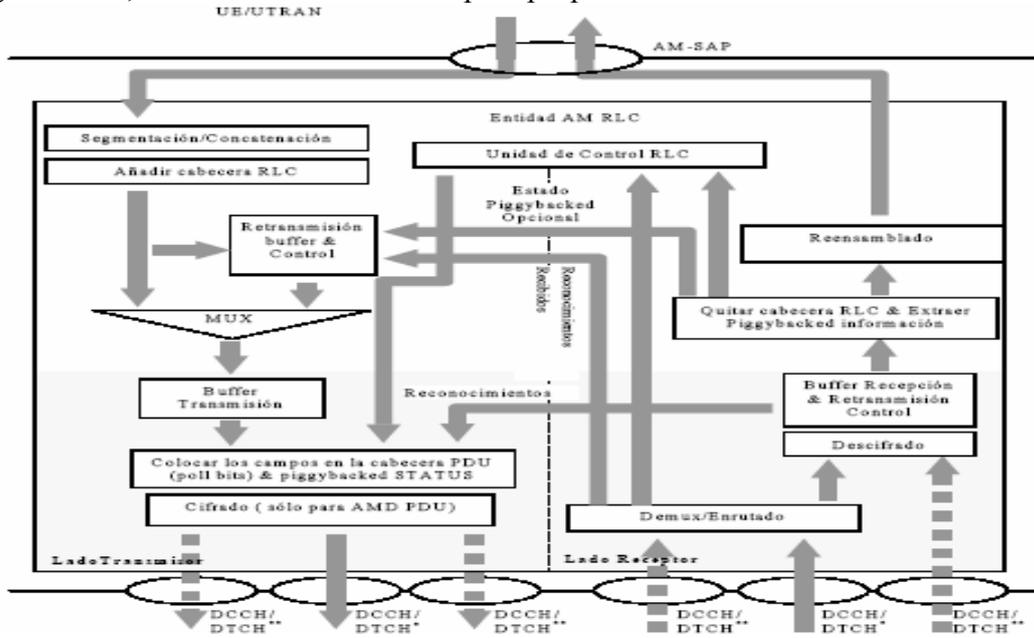


Figura V.30 Servicios y funciones del modo transparente AM de la capa RLC.

V.3.1.3.5 OTROS SERVICIOS DE LA CAPA RLC.



- Establecimiento/liberación de conexiones.
- Establecimiento de la calidad del servicio: El RRC configura el protocolo de retransmisión para proporcionar diferentes niveles de calidad de servicio.
- Suspensión/reanudación de transferencias de datos: Se realiza a través de los SAP's de control por el RRC y permite la suspensión/reanudación de transferencias de datos durante el procedimiento de control de la seguridad de forma que la misma llave sea utilizada por las dos entidades pares.

V.3.1.4. CAPA BMC.

V.3.1.4.1. ARQUITECTURA DE LA CAPA BMC.

En la figura V.31., se muestra la arquitectura de la capa BMC. El protocolo BMC existe sólo en el plano de usuario. Se localiza sobre la capa RLC pero se considera parte del 2º nivel. Utiliza el servicio UM del RLC para la transferencia de los mensajes de difusión de celda CB. El RLC transfiere estos mensajes utilizando la combinación CTCH/FACH. Está pensado para adaptar servicios de difusión y multicast aunque para esta release este protocolo se utiliza sólo para el servicio SMS-CB de GSM aunque en futuras releases se espera que proporcione mayores funcionalidades. Hay una entidad BMC en el UE y una en el RNC por cada celda lo que permite la programación de los mensajes de forma separada en cada una de ellas.

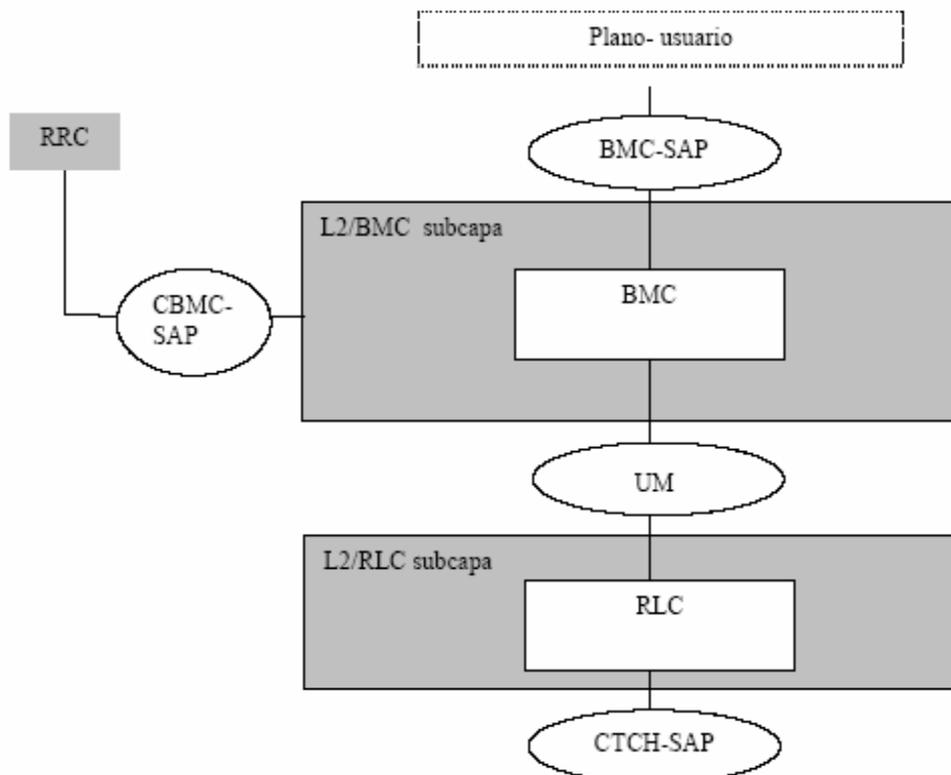


Figura V.31 Arquitectura de la capa BMC.

V.3.1.4.2. SERVICIOS DE LA CAPA BMC.

La capa BMC proporciona un servicio de transmisión difusión/multicast de datos comunes en el plano de usuario del interfaz radio en un modo sin confirmación.



V.3.1.4.3. FUNCIONES DE LA CAPA BMC.

Las funciones son las siguientes:

- Almacenamiento de los mensajes de difusión en las celdas: El BMC en el RNC almacena los mensajes recibidos a través del interfaz CBC-RNC para su difusión programada.
- Monitorización del volumen de tráfico y petición de recursos para el CBS: Se calcula la tasa de transmisión necesaria para el CBS y realiza la petición de los recursos CTCH/FACH necesarios al RNC.
- Programación de los mensajes BMC: De acuerdo con la información de programación recibida con los mensajes en el interfaz CBC-RNC se generan mensajes de programación y la secuencia de mensajes para su transmisión. En el UE estos mensajes de programación sirven para que el RRC determine los parámetros de programación y configure las capas inferiores.
- Transmisión de los mensajes BMC al UE.
- Entrega de los mensajes BMC a las capas superiores: Entrega los mensajes BMC no corruptos a las capas superiores.



V.3.1.5. CAPA PDPC.

V.3.1.5.1 ARQUITECTURA DE LA CAPA PDPC.

En la figura V.32., se muestra la arquitectura de la capa PDPC. El protocolo PDPC existe sólo en el plano de usuario para los servicios en modo paquete. El PDPC tiene acceso a los servicios en los tres modos del RLC: TM, UM y AM. Para la release-99 hay una correspondencia uno a uno entre los PDPC-SAP's y los RLC-SAP's. Para posteriores releases se espera incluir multiplexado de las portadoras radio. Cada entidad PDPC usa uno o varios tipos de algoritmos de compresión de cabeceras con parámetros configurables que se negocian durante el establecimiento o reconfiguración de una portadora radio por medio del SAP de control. Para la release 99 sólo se soporta el algoritmo de compresión de cabeceras de la RFC2507.

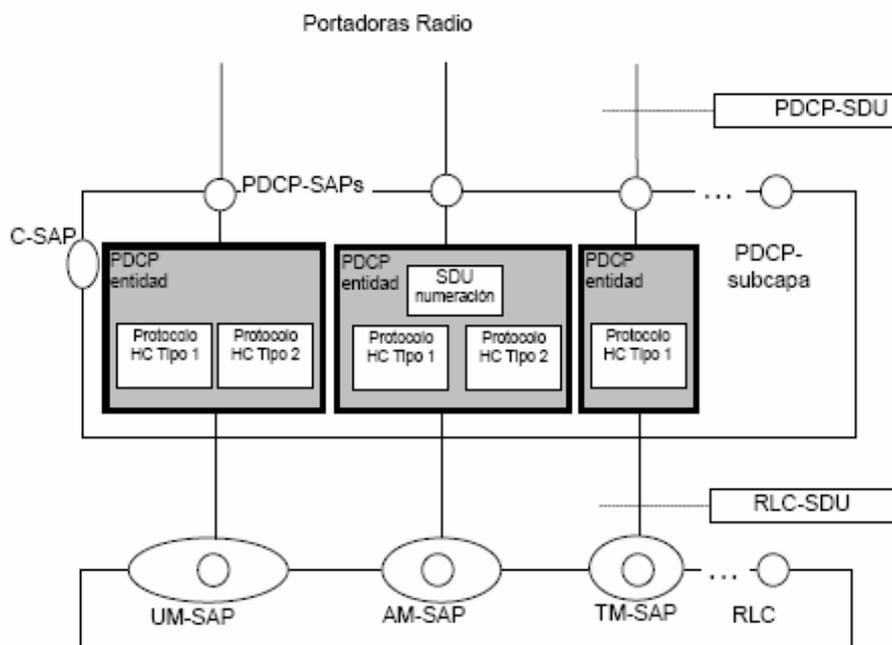


Figura V.32 Arquitectura de la capa PDPC.

V.3.1.5.2. SERVICIOS DE LA CAPA PDPC.

Proporciona un servicio de transferencia de datos de usuario usando compresión de cabeceras para mejorar la eficiencia en el canal radio.

V.3.1.5.3. FUNCIONES DE LA CAPA PDPC.

- Compresión/descompresión de cabeceras IP.
- Transferencia de datos de usuario.
- Mantenimiento de los números de secuencia PDPC para las portadoras radio que estén configuradas para soportar pérdidas en un cambio de SRNS.



V.3.1.6. CAPA RRC.

V.3.1.6.1. ARQUITECTURA DE LA CAPA RRC.

El RRC transporta toda la señalización de las capas superiores de control de movilidad MM, control de llamadas CC y control de sesiones SM así como la movilidad del UE en modo conectado (handovers, medidas, etc.). En la figura siguiente (V.33) se muestra la arquitectura de la capa RRC.

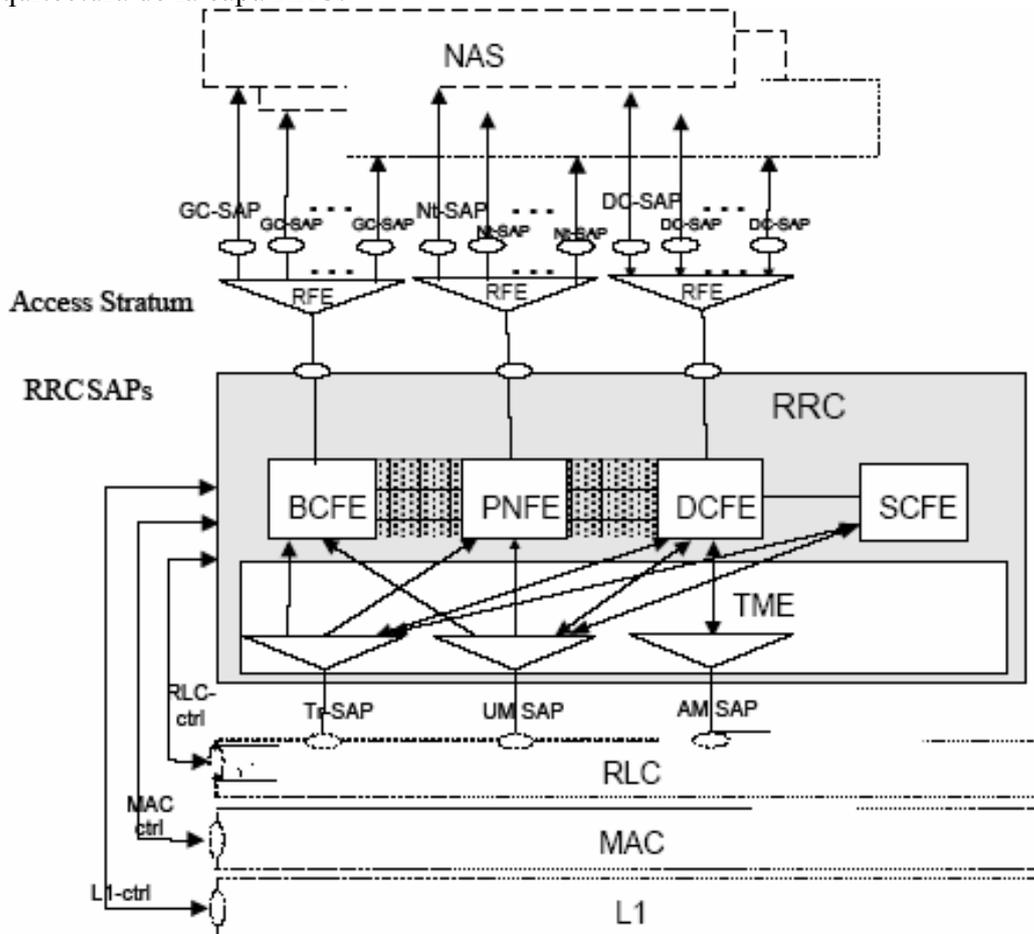


Figura V.33 Arquitectura de la capa RRC.

Las entidades que forman parte de la arquitectura de la capa RRC son:

- Entidad Funcional de Enrutado RFE (Routing Functional Entity): Asegura el enrutamiento correcto de la información desde/hacia el NAS. De esta forma los mensajes de diferentes entidades de la capa superior o diferentes dominios de Núcleo de red son enrutados correctamente.
- Entidad Funcional de Control de la Difusión BCFE (Broadcast Control Functional Entity): Maneja la difusión de la información del sistema. Hay al menos una BCFE por cada celda en el RNC. Utiliza los canales lógicos BCCH y FACH a través de los SAP's transparentes.
- Entidad Funcional de Control del Paging PNFE (Paging and Notification Functional Entity): Maneja los pagings y las notificaciones cuando los UE's se encuentran en modo idle (sin tener una conexión RRC con la red). En la UTRAN hay una PNFE



por cada celda en el RNC. Usa el canal lógico PCCH a través de un SAP transparente de la capa RLC.

- Entidad Funcional de Control Dedicado DCFE (Dedicated Control Functional Entity): Maneja todas las funciones y señalización específica de un UE cuando está en modo conectado. En el SRNC existe una DCFE por cada UE que tiene una conexión con este RNC. Usa habitualmente el servicio AM de la capa RLC aunque algunos mensajes son enviados en modo AM (RRC Connection Release) o transparente (Cell Update etc.).

Los servicios que ofrece el RRC a las capas superiores lo hace a través de tres tipos de SAP's: SAP de Control General GC-SAP, SAP de Notificación Nt-SAP y SAP de Control Dedicado DC-SAP. El GS-SAP proporciona acceso a los servicios ofrecidos por la entidad BCFE. El Nt-SAP proporciona acceso a los servicios ofrecidos por la entidad PNFE. El DC-SAP proporciona acceso a los servicios ofrecidos por la entidad DCFE.

V.3.1.6.2. ESTADOS DE SERVICIO DEL RRC.

En la figura V.34 se muestran los estados y las posibles transiciones en los que se puede encontrar una terminal multimodo.

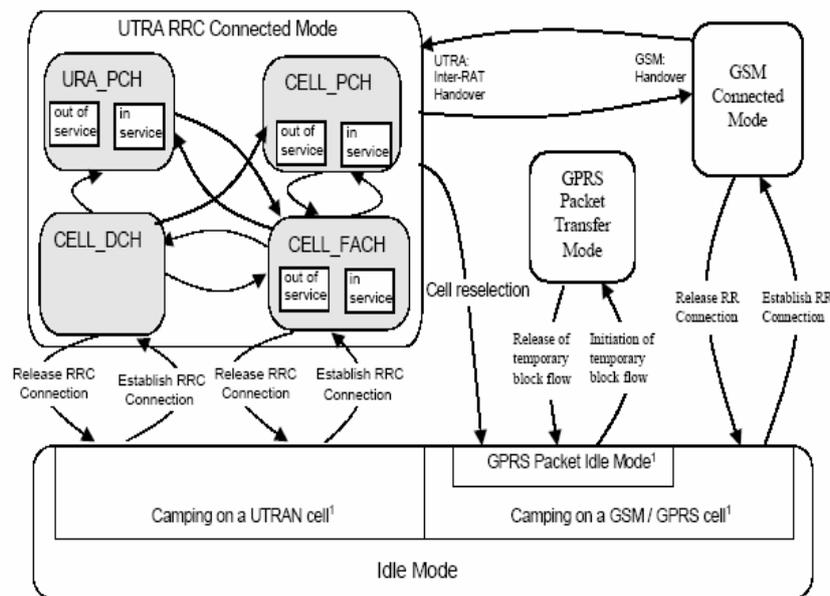


Figura V.34 Estados de Servicio del RRC.

En los sistemas de segunda generación sólo existen dos niveles de conexión: modo conectado y modo idle. En UMTS dependiendo de la actividad del UE se definen otros modos. En principio cuando un UE se enciende realiza una selección de celda y acampa en la misma encontrándose en modo idle. Cuando establece una conexión RRC pasa al modo conectado. Se definen varios estados dependiendo del nivel de conexión y de los canales de transporte que pueden ser usados:

- Estado Cell_FACH: El UE no tiene un recurso dedicado asignado. El UE escucha el FACH en DL y lee el canal lógico BCCH para adquirir la información del sistema. Procedimientos como el Location_update se realiza en este estado. El UE usa el



CRTNI para ser identificado y en el uplink utiliza el RACH. Cuando el UE realiza un URA_update se mueve al estado URA_PCH.

- Estado Cell_PCH: El UE monitoriza el PCH a través de un PICH asignado. El UE no tiene un recurso dedicado asignado y no tiene actividad en el uplink. El móvil lee el canal lógico BCCH para adquirir la información del sistema. Cuando el UE recibe un paging o quiere iniciar una transmisión en el uplink se mueve al estado Cell_FACH.
- Estado URA_PCH: Es parecido al anterior salvo que el móvil es conocido sólo a nivel de URAN.
- Cell_DCH: En este estado el UE tiene asignado un canal físico en el uplink y otro en el downlink. A este estado se puede llegar después de establecer una conexión o bien cuando un canal físico es asignado a un UE en Cell_FACH. Este estado es equivalente al modo conectado de GSM. Cuando los canales físicos son liberados el UE vuelve al estado Cell_FACH.

V.3.1.6.3. FUNCIONES DE LA CAPA RRC.

Las funciones de la capa RRC pueden agruparse en procedimientos que se clasifican en:

- Procedimientos de Control de la Conexión RRC.
- Procedimientos de Control de las Portadoras Radio.
- Procedimientos de Control de la Movilidad de Conexión RRC.
- Procedimientos de Medida.
- Procedimientos Generales.

V.3.1.6.3.1. PROCEDIMIENTOS DE CONTROL DE LA CONEXIÓN RRC.

1. Difusión de la Información del Sistema:

El objetivo de este procedimiento es difundir la información del sistema transmitida en el BCCH para que los móviles puedan leer esta información y accedan al sistema correctamente. Los elementos de información del sistema se transmiten en los system information blocks SIB's. Un SIB contiene una colección de elementos de información relacionados con una actividad de control (por ejemplo el SIB3 contiene parámetros relacionados con la selección/reselección de celda). Los SIB's se organizan en forma de árbol. El master information block MIB da referencia a un número de SIB's incluyendo la información de ocurrencia de otros SIB's. En la figura V.35., se muestra la estructura jerárquica de la información del sistema.

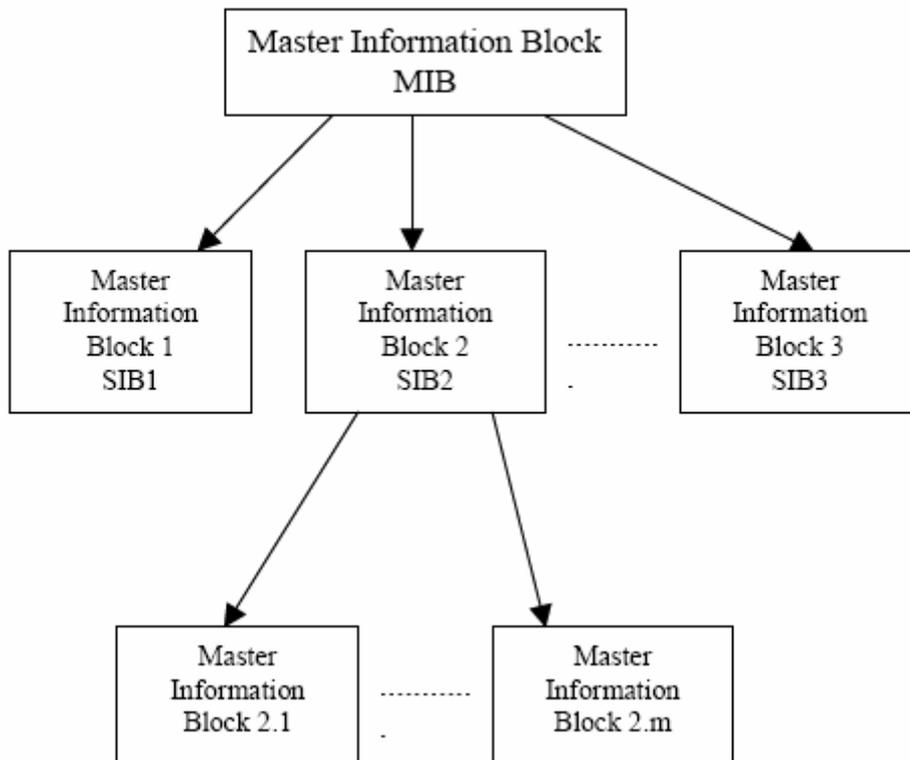


Figura V.35 Estructura jerárquica de la información del sistema.

2. Pagina:

El objetivo de este procedimiento es permitir al Core Network enviar llamadas al móvil, alertar a todos los móviles de una celda para que lean la información del Sistema actualizada y cambiar el estado de un UE. El RNC transmite mensajes de Paging tipo 1 en el canal lógico PCCH en todas las celdas dentro del área donde el UE se encuentra localizado. El canal lógico PCCH se mapea en el canal de transporte PCH. Hay dos tipos de paging: el originado por el Core-Network y el originado por la red de acceso WCDMA RAN para informar a todos los móviles que lean la información del sistema actualizada.

3. Establecimiento, Liberación y Mantenimiento de la Conexión RRC:

El establecimiento de una conexión RRC es iniciada por el UE por si mismo o como contestación a un paging. El móvil envía un mensaje RRC Connection Request que es transportado en el canal lógico CCCH y en el canal de transporte RACH. Este mensaje contiene una identificación inicial del móvil (TMSI o P-TMSI, su IMSI o si no tiene USIM el IMEI) que después de establecer la conexión es descartada por el RRC.

Después de recibir este mensaje la UTRAN responde con un mensaje RRC Connection Set-Up asignándole al UE una identificación llamada RNTI e informándole acerca de la portadora radio asignada o con RRC Connection Reject indicándole que intente en otra portadora radio. El mantenimiento de la conexión hace referencia al procedimiento de reestablecimiento de la conexión que se utiliza después de un fallo en el enlace radio.



En la figura V.36, se muestra el establecimiento de una conexión RRC por parte del móvil.

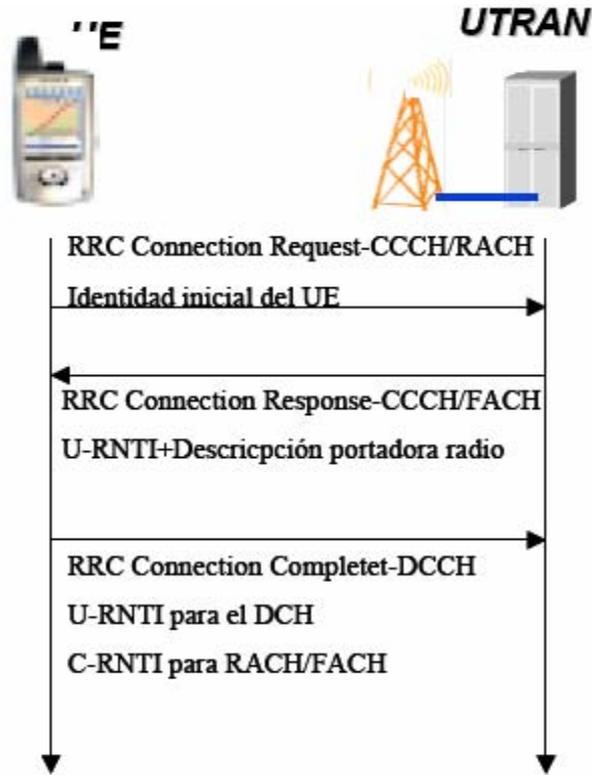


Figura V.36 Establecimiento de una conexión por parte del móvil.

4. Comunicación de la capacidad de un móvil:

Es un procedimiento sencillo que permite a un móvil comunicar a la UTRAN sus capacidades relativas al interfaz radio. Lo comienza la UTRAN generalmente a menos que las capacidades de un móvil varíen a lo largo de una conexión RRC. En la figura V.37 se muestra el procedimiento.

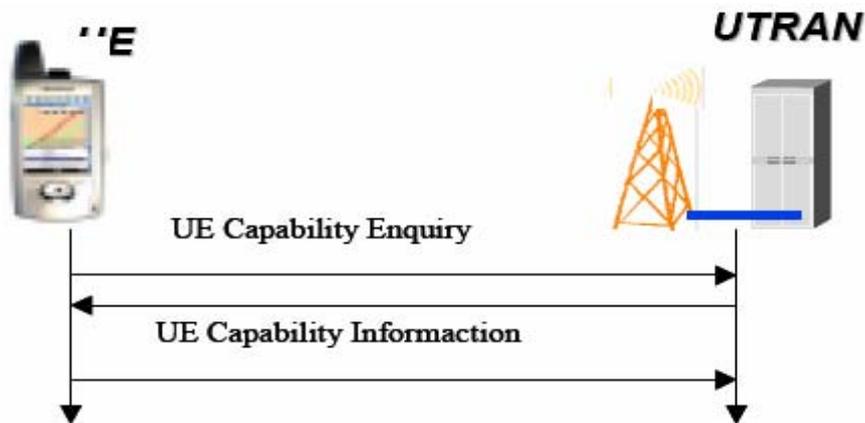


Figura V.37 Comunicación de la capacidad por parte de un móvil.

5. Transferencia directa de señalización de las capas superiores:



La capa RRC es responsable de transferir la señalización NAS entre el CN y el UE de forma transparente. Esto se realiza mediante el procedimiento de Transferencia Directa. El mensaje Initial Direct Transfer se envía en el uplink enviando el primer mensaje NAS que contiene una descripción del servicio así como la identidad del dominio CN que permite enrutar el mensaje a las entidades del NAS del CN. A partir de este momento los siguientes mensajes se intercambian con Uplink/downlink direct transfer.

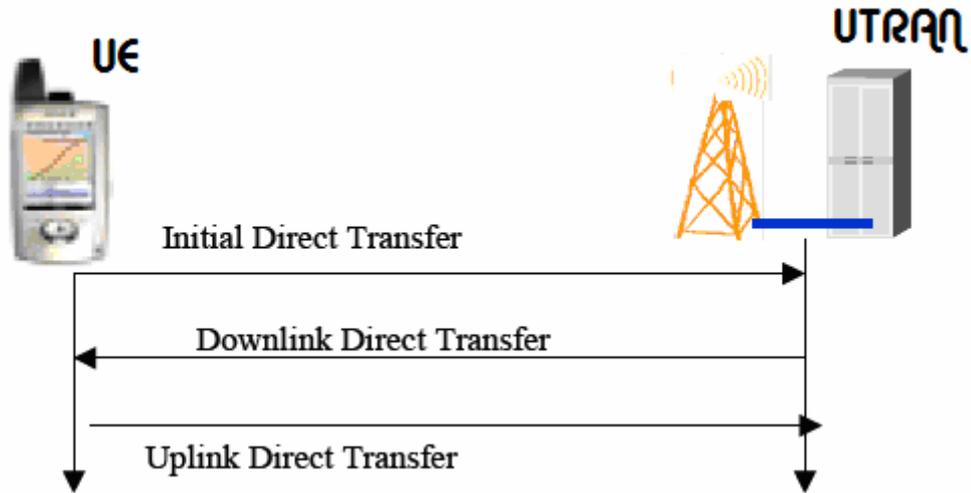


Figura V.38 Transferencia directa de señalización de las capas superiores.

6. Control de las Funciones de Seguridad:

Se utiliza este modo para iniciar el cifrado y la protección de la integridad entre el UE y la UTRAN y para cambiar las claves durante una conexión. La clave de cifrado es específica para cada dominio del CN (una para CS y otra para PS). Para la señalización se utiliza la más nueva. El cifrado se realiza en la capa RLC para servicios UM y AM y en la MAC para servicios transparentes controlado por la capa RRC que es la que se encarga de iniciarlo, cambiar las claves y detenerlo. La integridad de la información utiliza un algoritmo en el UE y la UTRAN que permiten comprobar los mensajes que se intercambian durante una conexión. En la figura V.39 se muestra el procedimiento.

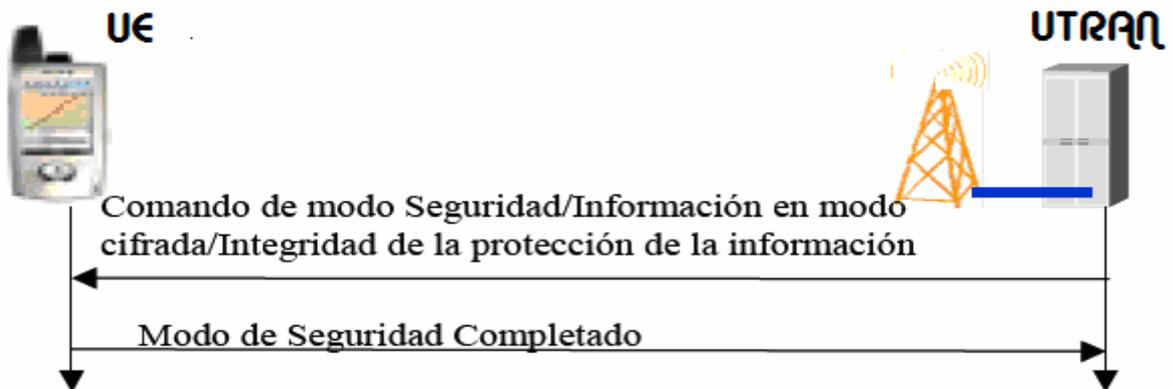


Figura V.39 Control de funciones de seguridad.



V.3.1.6.3.2. PROCEDIMIENTOS DE CONTROL DE LAS PORTADORAS RADIO, CANALES FÍSICOS Y CANALES DE TRANSPORTE.

Cada conexión del UE requiere la asignación de varias portadoras radio RB (radio bearee). Cada portadora radio representa la descripción de la funcionalidades de la capa MAC y RLC para ser aplicada a la información que se transfiere en esa portadora radio.

Las portadoras radio RB son requeridas para la transferencia de señalización y tráfico a /desde un UE. Las RB's que transfieren señalización son establecidas como parte del procedimiento de establecimiento de la conexión RRC aunque existen procedimientos de control de RB's para crearlas, modificarlas y borrarlas. Hay 4 tipos de portadoras radio:

- RB#0: Se usa para todos los mensajes sobre el DCCH y RLC UM.
- RB#1: Se usa para todos los mensajes sobre el DCCH y RLC AM.
- RB#2: Se usa para todos los mensajes Direct Transfer sobre el DCCH y RLC UM.
- RB#3: Es opcional y si se usa se utiliza para los mensajes Direct Transfer sobre el DCCH y RLC UM. Permite a la UTRAN establecer prioridades en la señalización NAS enviando la de menor prioridad por esta portadora y la de mayor por la RB#2.

Se encarga también de reconfigurar los canales físicos y los de transporte para una conexión.



V.3.1.6.3.3. PROCEDIMIENTOS DE CONTROL DE LA MOVILIDAD DE CONEXIÓN RRC.

1. Cell Update (*Actualización de Celdas*):

Cuando el móvil se encuentra en los estados Cell_FACH o Cell_PCH. Se inicia por diversas causas: se ha reelegido una nueva celda, ha expirado un timer, se inicia una transmisión en el uplink o llega un paging por parte de la UTRAN, como se muestra en la figura V.40. Hay tres procedimientos:

- Básico.
- Con reasignación de RNTI.
- Con reconfiguración de los canales físicos que utiliza el UE.

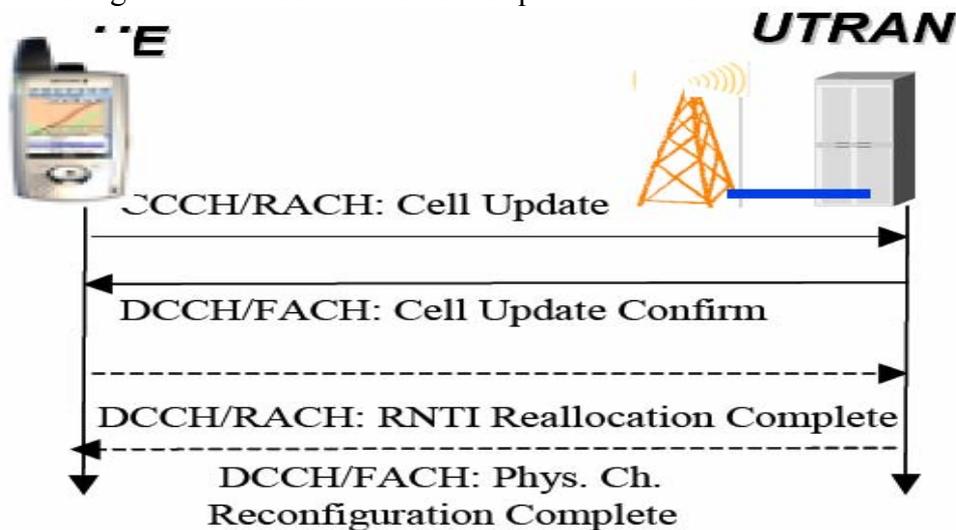


Figura V.40 Cell Update.

2. URA Update:

Un área de registro UTRAN URA es una región donde se ha definido la cobertura por medio de un conjunto de celdas. Las URA's no son necesariamente exclusivas de forma que las celdas de unas y otras pueden solaparse. Permiten disminuir señalización en la red.

Este proceso es realizado por el UE cuando se encuentra en el estado URA_PCH y se inicia cuando el UE ha reelegido una nueva celda y no puede encontrar la identidad de la URA que tiene asignada en la lista de identidades de URA's difundida por la celda o bien cuando expira un timer. Este procedimiento puede incluir una reasignación del RNTI. Este proceso se ilustra en la figura V.41.

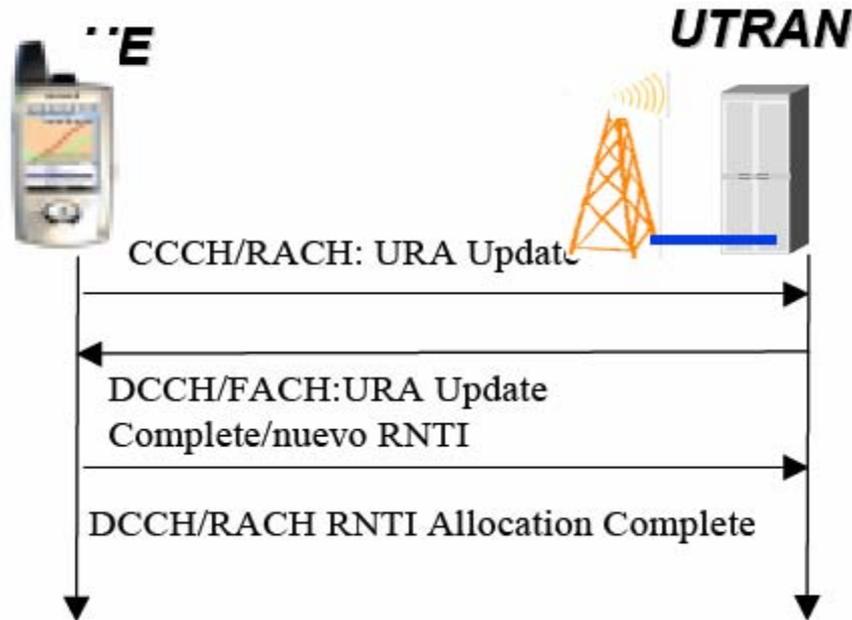


Figura V.41 URA Update.

3. ACTIVE SET Update:

Durante el soft-handover el UE se encuentra conectado a un conjunto de celdas denominado Active Set. Este procedimiento permite actualizar este conjunto mientras que el móvil se encuentra en Cell_DCH. Consiste en las funciones de añadir un nuevo enlace radio, borrarlo o una combinación de ambas.

4. Traspasos:

Los tipos de traspasos que se pueden tener son:

- Handover entre sistemas de 3a Generación (3G - 3G).
 - Intrafrecuencia: Soft / Softer Handover: Traspaso con continuidad en el que un móvil comunica con una nueva estación base sin interrumpir la comunicación con la estación base actual. Sólo se puede realizar con estaciones base que tengan una asignación de frecuencias idéntica. Si es entre dos sectores de una misma estación base se denomina Softer handover.
 - Interfrecuencial: Este tipo de traspaso se da en las siguientes situaciones:
 - Traspaso entre células que utilizan frecuencias portadoras distintas.
 - Traspaso entre operadores/sistemas distintos de UTRA que utilizan frecuencias portadoras diferentes FDD / FDD, FDD / TDD y TDD / TDD.
- Handover entre sistemas de 2a y 3a Generación (3G - 2G)
 - Handover con GSM.



V.3.1.6.3.4. PROCEDIMIENTOS DE MEDIDA.

El objetivo de este procedimiento es establecer, modificar o terminar una o más medidas a realizar por parte del UE. Se aplica al móvil en cualquiera de los estados del modo conectado. Para ello la UTRAN envía al UE un mensaje de Measurement Control (cuando se encuentra en Cell_DCH mientras que si está en otro estado esta información le llega a través de la información del sistema) donde se le indica entre otras cosas los tipos de medidas, triggers para las medidas, las que debe incluir en el reporte etc. Hay varios tipos de medidas que puede realizar el móvil: medidas inter-frecuencia, intrafrecuencia, inter-sistema, volumen de tráfico en uplink, calidad en downlink, medidas internas y para servicios de localización. Cuando se encuentra en Cell_DCH el móvil reporta las medidas a la UTRAN mediante el mensaje Measurement Report.

V.3.1.6.3.5. PROCEDIMIENTOS GENERALES.

Se incluyen diversos procedimientos de lo que cabe resaltar entre otros el control de potencia en bucle abierto, la selección de la identidad inicial del UE, detecciones de cuando el UE se encuentra fuera o dentro de cobertura, establecimiento de las clases de servicio, cálculo de las ocasiones y medida, acciones cuando el móvil entra en modo idle después de estar en modo conectado, procedimiento de establecimiento de canales físicos etc.

V.3.2. ARQUITECTURA DE PROTOCOLOS DE LOS INTERFACES Iu, Iub, Iur.

En la figura V.42., se muestra la arquitectura de protocolos de los interfaces Iu, Iub, Iur.

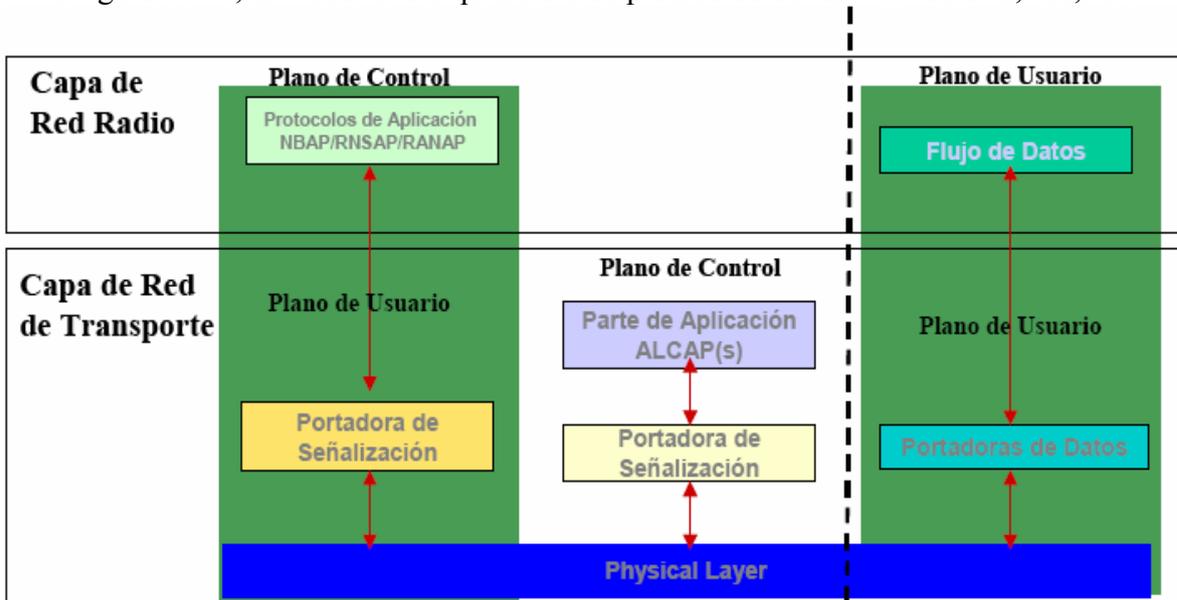


Figura V.42 Arquitectura de protocolos de los interfaces Iu, Iub, Iur.



Se distinguen dos capas:

- Capa de Red Radio: Protocolos específicos de UTRAN.
- Capa de Red de Transporte: Transportan la información de la capa de red radio sobre los Interfaces Iur. Se basa en ATM en la release-99 lo que facilita la migración. Se ha utilizado ATM por permitir una asignación flexible del ancho de banda, un uso eficiente de los recursos, proporciona mecanismos de calidad de servicio y es una tecnología madura.

Protocolos de Aplicación.

NBAP: Es el protocolo de señalización de la capa radio que se utiliza en el interfaz Iub entre el Nodo B y el RNC.

Se divide en dos componentes:

- NBAP común y la lógica de O & M: Se encarga de la señalización que no es común a un terminal específico como la difusión de información de sistema, configuración de celdas, establecimiento/reconfiguración/liberación de canales de transporte comunes. Permite la gestión de fallos y la configuración.
- NBAP dedicado: Una vez establecida una comunicación con un UE se crea un NBAP dedicado para ese UE.

RNSAP: Es el protocolo de señalización de la capa radio que se utiliza en el interfaz Iur entre dos RNC's. Entre sus funciones se encuentran:

- Transferir las señalizaciones de UL Y de DL.
- Reporte de las medidas sobre recursos dedicados en DRNS.
- Control de potencia sobre DRNS (DL).
- Gestión de enlaces radio UE/DRNC/SRNC.
- Paging sobre DRNS.
- Reubicación de SRNC (DRNC=>SRNC).
- Gestión de errores.
- Establecimiento/reconfiguración/liberación de enlaces radio UE/DRNC/SRNC.

RANAP: Es el protocolo de señalización de la capa radio que se utiliza en el interfaz Iu entre UTRAN y CN. Entre sus funciones se encuentran:

- Relocation. Se encarga de las funciones de re-ubicación de SRNS y de hard handover incluyendo handover entre sistemas (de/ hasta GSM).
 - Re-ubicación SRNS. Se cambia el RNS que está sirviendo un RNS a otro sin cambiar los recursos radio y sin interrumpir el flujo de datos.
 - Hard handover inter RNS. Se cambia la funcionalidad de RNS servidora de una a otra RNS y se cambian los recursos radio con un hard handover.
- Gestión del RAB (Radio Access Bearer). Incluye:
 - Establecimiento de RAB incluyendo la posibilidad de encolado.
 - Modificación de las características.
 - Eliminación del RAB.
- Liberación del Iu. Liberación de todos los recursos de la Iu relacionados con un equipo de usuario.



- Report de información no entregada. Permite a la CN que pueda actualizar sus registros sobre información no entregada.
- Gestión de ID común. Manejo de la identidad del UE para que se pueda hacer un paging coordinado entre dos CN distintos.
- Paging. El paging se envía de CN a UTRAN y esta decide usar un canal de señalización establecido o hacer un paging en modo broadcast.
- Gestión del trazado. La CN puede pedir a UTRAN que inicie la monitorización de la actividad de un UE.
- Transferencia de señalización UE- CN. Permite la transferencia de señalización de forma transparente entre la CN y el UE.
- Control del modo seguro. Cuando el cifrado o la integridad del canal está activado la información se cifra y se acompaña con un checksum. Esto permite verificar que el interlocutor no se ha modificado y que los datos no se han alterado.
- Gestión de sobrecarga. Se usa para gestionar la carga sobre la UTRAN y la CN.
- Reset. En situaciones de error se puede originar un reset.
- Reporte de localización. Permite conocer la localización del UE.

Portadoras de Datos.

Las portadoras de datos son:

- Iub/Iur: Son miniconexiones AAL2 donde se envían las tramas radio de la capa MAC (voz, datos, señalización).
- Iu-CS: Son miniconexiones AAL2, donde se envían tráfico CS hacia MSC.
- Iu-PS: Túneles IP sobre AAL5. Para ello se utiliza el protocolo GTP.

Portadoras de Señalización.

Permiten el transporte de las partes de aplicación:

- Capa radio: NBAP, RANAP y RNSAP.
- Capa de transporte: ALCAP. Este protocolo permite establecer/liberar las miniconexiones AAL2 así como la transmisión de señalización AAL2.

Para el transporte de la señalización hay dos opciones: La propuesta por IETF (SIGTRAN) y la de ITU-T (RDSI-BA/SS7).

En la primera se utiliza:

- SCTP Stream Control Transmission Protocol RFC 2960 que permite el transporte fiable de señalización RTC sobre IP.
- Protocolos de Adaptación de usuario: permiten transmitir la señalización de usuario sobre el anterior. Se utiliza M3UA y M2UA.

En la segunda se utilizan:

- Service- Specific Coordination Function SCCF-NNI. Ofrece los siguientes servicios:
 - Paso/ recepción de datos del SSCOP.



- Control de flujo.
 - Como respuesta a la congestión.
 - Para evitar la saturación del otro extremo.
 - Estado del enlace
- Mantiene información sobre el estado del enlace.
 - Dispuesto.
 - Fuera de servicio.
- Gestión del enlace.
- Procedimientos de alineamiento.
- Puesta en servicio.

- Service- Specific Connection- Oriented Protocol SSCOP: se encarga de
 - Secuenciamiento de paquetes.
 - Retransmisión de paquetes erróneos.
 - Test periódico del enlace (keep alive timer).
 - Se soporta sobre AAL5.

Q. 2630.1: Protocolo de señalización capaz de establecer y liberar conexiones con AAL2, tiene las siguientes características:

- Establecer y liberar conexiones AAL2 sobre extremos y conmutadores AAL2.
- Encaminamiento salto a salto.
- Capaz de controlar AAL2 conexiones en más de un VCC.
- Independiente del protocolo de transporte de señalización.
- Ofrecer un mecanismo de extensión en el futuro.

AAL2. Q. 2150: Conversores de transporte de señalización. Hay dos conversores para el uso de protocolos de transporte de señalización:

- Q. 2150. 1 Conversor de transporte de señalización en el MTP de banda ancha. Se usan los servicios de MTP.
- Q. 2150.2 Conversor para el transporte de señalización en SSCOP. Se usan los servicios de SSCOP, que a su vez puede usar AAL2 o AAL5.



En las siguientes figuras (V.43, V.44, V.45 y V.46) se muestran las arquitecturas de protocolos para los diferentes Interfaces de UMTS.

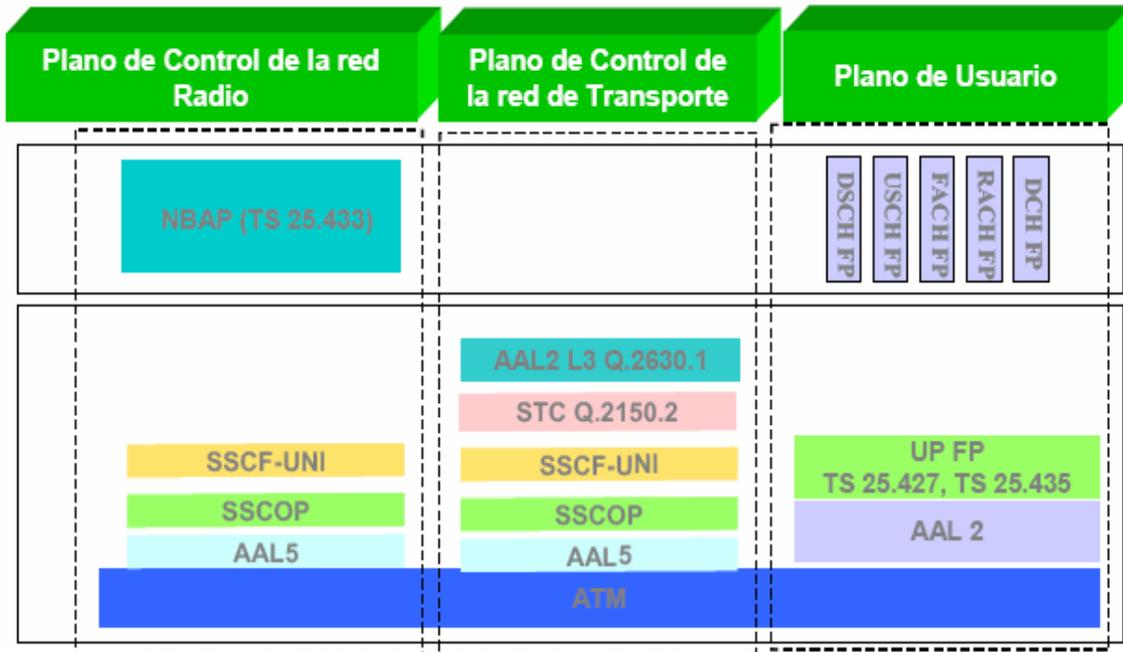


Figura V.43 Arquitectura de protocolos del interfaz Iub.

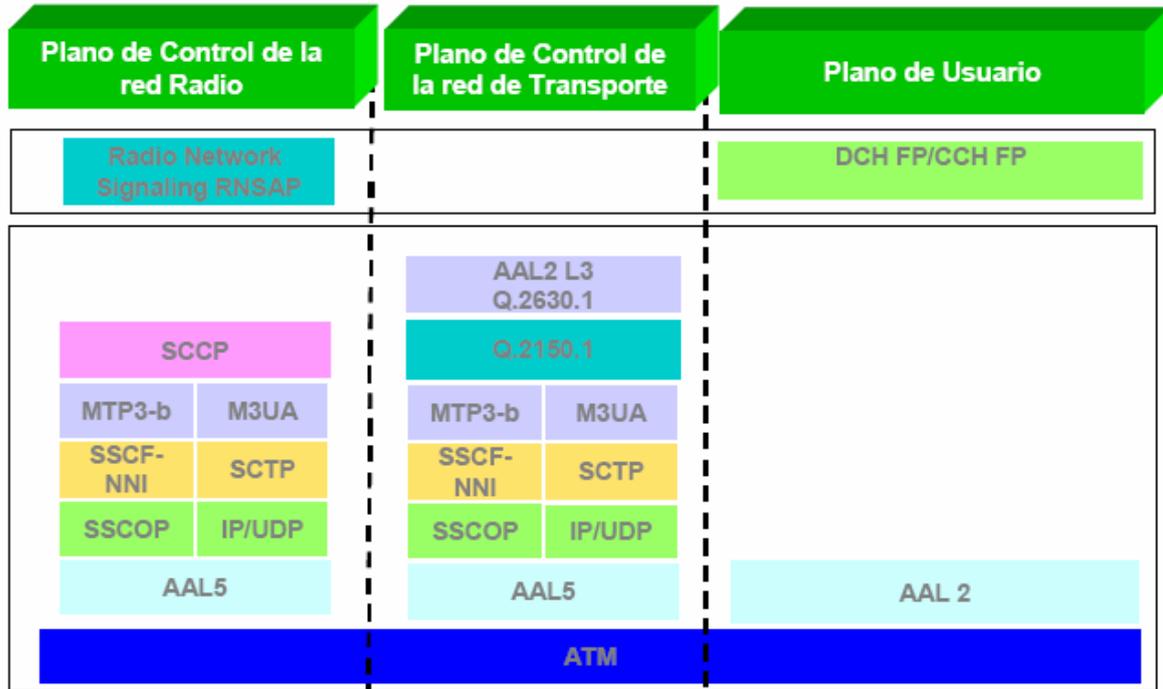


Figura V.44 Arquitectura de protocolos del interfaz Iur.

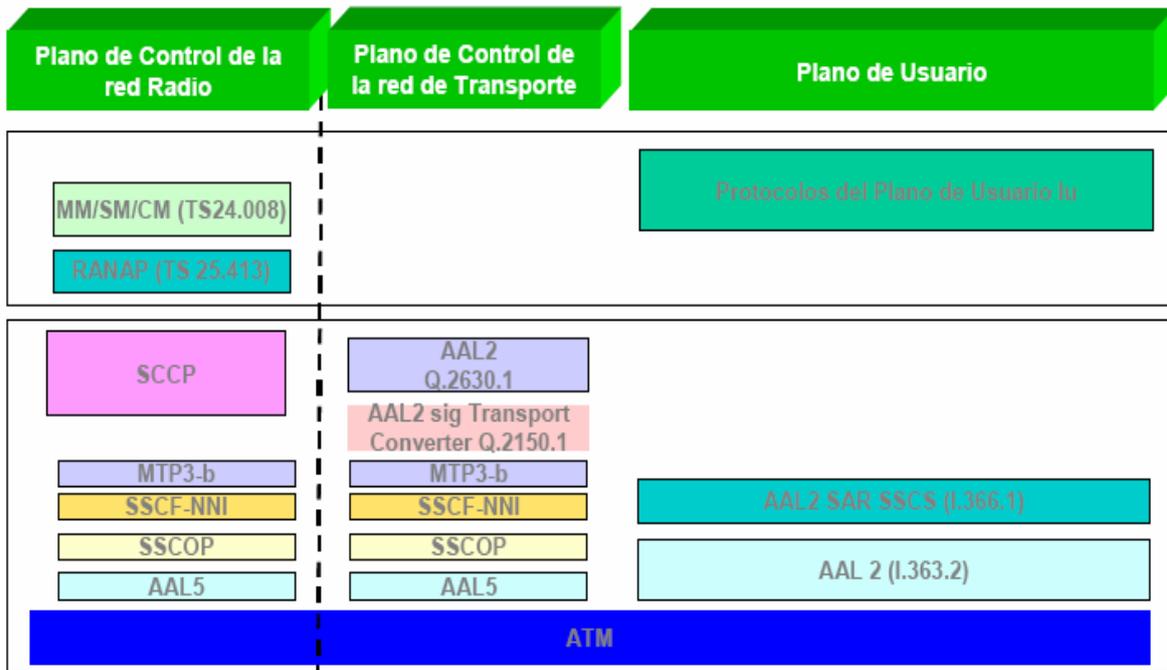


Figura V.45 Arquitectura de protocolos del interfaz lu-CS.

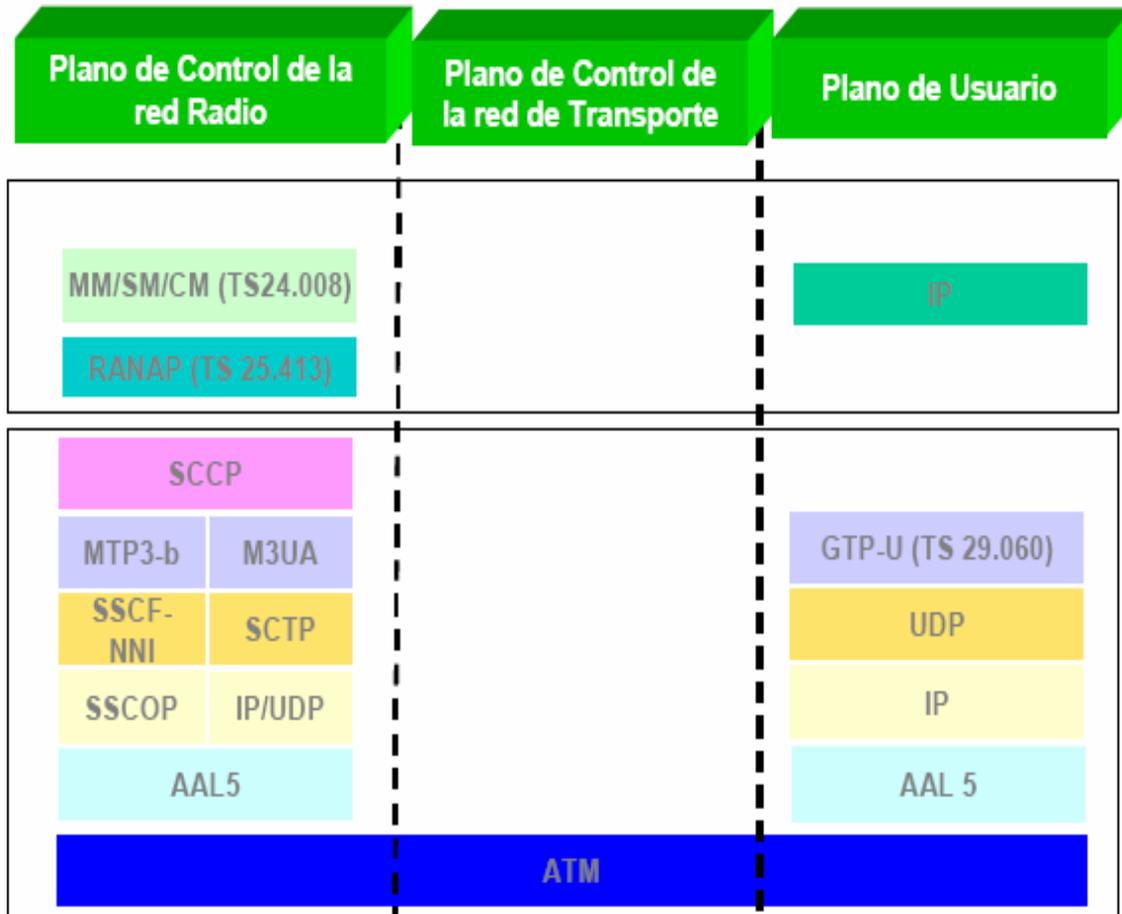


Figura V.46 Arquitectura de protocolos del interfaz lu-PS.

V.3.3. HANDOVER EN UMTS.



V. 3. 3. 1. CARACTERÍSTICAS DEL HANDOVER.

Con el fin de dar soporte a la movilidad del terminal, los sistemas móviles cuentan con una serie de funciones específicas, denominadas funciones de movilidad, que no son necesarias en los sistemas fijos. Entre ellas destacan la actualización de la posición, las funciones asociadas al establecimiento de llamada (que llamaremos genéricamente localización) y el Handover. La importancia de estas funciones radica en que, junto a las limitaciones en los servicios ofrecidos que impone el empleo de una interfaz radio, determinan la necesidad de una infraestructura diferente o una ampliación de las capacidades desarrolladas en los sistemas que dan soporte a las comunicaciones fijas.

La actualización de la posición permite conocer la localización de cualquier terminal móvil activo, este o no en movimiento de forma lo suficientemente precisa como para poder establecer una comunicación precisa del soporte de un sistema de bases de datos en el que se almacene de forma actualizada la posición de cada terminal. Como se muestra en la figura V.47:

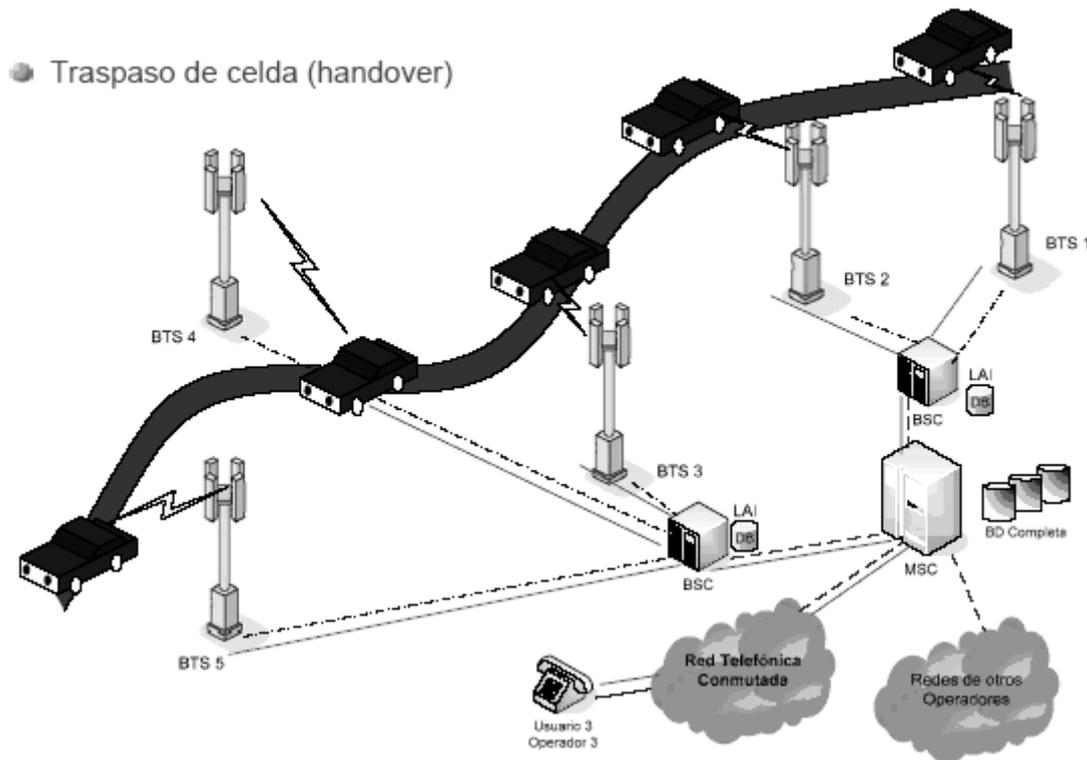


Figura V.47

La función de localización implica una estrategia de búsqueda del móvil por parte de la red. Supone la interacción entre sistemas de bases de datos así como un sistema de mensajería para informar al móvil de que esta siendo llamado.

El Handover o transferencia de conexión portadora entre estaciones de base debida al movimiento del terminal, resultara una operación mucho más compleja, sobre todo desde el punto de vista de la red, que lo que es actualmente. La función del Handover consiste en asegurar la continuación de la llamada una vez que esta ha sido establecida. Se define como Handover a la función que supone un cambio de canales (notar que



puede tratarse de canales de señalización relacionados con la llamada y no necesariamente de canales de información) físicos sean radio y/o terrestres durante una llamada manteniendo dicha llamada.

En los sistemas de primera y segunda generación, el Handover se produce siempre como consecuencia de un cambio en las condiciones de recepción por parte del móvil y/o de la estación base, entre elementos (estaciones base) del mismo nivel jerárquico y sin que se produzca un cambio en los servicios portadores. Además, se trata de una operación relativamente infrecuente. En los sistemas de tercera generación, podrán producirse Handovers a petición de la red; se podrán producir entre elementos con distinta funcionalidad o pertenecientes a diferentes proveedores de servicios; y podrán implicar el cambio del (de los) servicio(s) portador(es) que soporta(n) el teleservicio que se proporciona.

Este cambio puede ser causado por el propio movimiento del terminal (al pasar de una célula a otra), o debido a factores como el perfil del usuario, la capacidad del sistema, gestión de la red etc.

Como puede verse en la V.48, el reencaminamiento que debe realizarse en la red fija no es una tarea insignificante, y más si se tiene en cuenta que el Handover puede ocurrir entre estaciones base situadas en diferentes centrales locales o incluso en diferentes centrales de tránsito. Es previsible que en el sistema UMTS durante el proceso de Handover deba ser definido un punto común para efectuar el 'bridging' (función que realiza la suma de señales de forma parecida a como ocurre en un servicio de multiconferencia) de las portadoras entre la conexión vieja y la conexión nueva para que el móvil pueda realizar el Handover de forma imperceptible. Como consecuencia de la arquitectura en árbol existente en la red el punto de 'bridging' puede estar situado a cualquier nivel en la red.

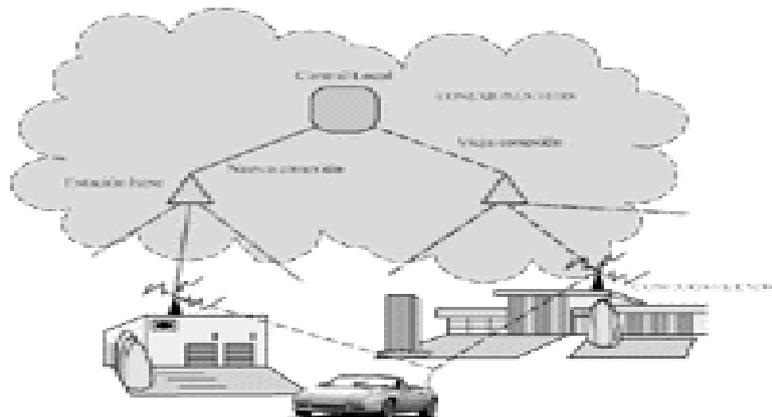


Figura V.48 Proceso del Handover.



Como características relevantes de esta función pueden citarse las siguientes:

- Se trata de un proceso que requiere un conocimiento y un control directo sobre conexiones físicas, por consiguiente es muy dependiente de la arquitectura de la red.
- Su elevada frecuencia en algunos entornos.
- Sus estrictos requerimientos de calidad, dado que el handover no debe ser perceptible para el usuario; por lo tanto el tiempo permitido de interrupción debido al cambio de conexión es muy reducido.
- No está ligado al proceso básico de llamada, siendo esta característica compartida por otras funciones de movilidad. Esto significa que estas funciones son requeridas en muchas ocasiones aunque el terminal no esté realizando ninguna llamada, sino simplemente encendido y moviéndose dentro de la zona de cobertura, como es el caso por ejemplo, de la actualización de la posición.

Todas estas características apuntan ya algunas de las serias diferencias entre el handover y los servicios típicos de red inteligente.

V. 3. 3. 2. INTRODUCCIÓN DEL HANDOVER EN EL MODELO CONCEPTUAL DE LA RI.

UIT-T ha desarrollado el llamado Modelo Conceptual de la Red Inteligente (MCRI) con el propósito de proporcionar una estructura de referencia para el diseño y la descripción de los diferentes conjuntos de capacidades de la Red Inteligente (RI), así como de reflejar la arquitectura destinada a soportar dicha red. Las principales diferencias entre los modelos funcionales y las arquitectura de red de un sistema que soporte la movilidad del terminal y otro que no vendrá dada por la incorporación de las entidades funcionales que proporcionan esta movilidad, así como de los elementos de red que las soporten. Las diferencias, sin embargo, no sólo son de índole cualitativo (que es lo que se hace), sino también de orden cuantitativo (número de operaciones efectuadas y volumen de información transferida y procesada). La metodología de UIT-T está orientada al diseño de sistemas consistentes, pero no permite valorar su eficiencia. Y lo mismo puede decirse del MCRI. Por otro lado, una valoración cuantitativa supone tener que realizar hipótesis sobre la capacidad de procesamiento y de transporte de información de las entidades físicas de la red.

Este tipo de consideraciones cuantitativas si se tienen en cuenta, sin embargo, en algunas de las hipótesis de diseño que se utilizan en los sistemas de tercera generación. Por ejemplo, debido a la elevada carga de señalización y a los importantes requerimientos de capacidad de almacenamiento de información, se considera que el soporte de algunas funciones de movilidad sólo es posible mediante un sistema de bases de datos distribuidas.

Una vez hechas estas puntualizaciones, a continuación se trata de modelar el handover en cada uno de los planos que constituyen el MCRI, dichos planos no son más que representaciones, desde un punto de vista diferente, de la estructura de una red inteligente; por lo tanto, en las siguientes secciones se describe al handover desde la perspectiva de los 4 planos que forman el MCRI que son: el Plano de Servicios (PS), el Plano Global Funcional (PGF), el Plano Funcional Distribuido (PFD) y finalmente el Plano Físico (PF), analizándose en cada una de dichas etapas cuáles son las dificultades existentes y proponiéndose a continuación las posibles soluciones.



V. 3. 3. 3. EL PLANO DE SERVICIOS.

El plano de servicios, describe los servicios y sus características desde el punto de vista de requerimientos del usuario, es por lo tanto de interés principalmente para usuarios de servicios y proveedores de dichos servicios.

El handover es un servicio transparente al usuario y precisamente ese es su mayor requerimiento de calidad, el único servicio que debe percibir el usuario (excepto en raras ocasiones) es la movilidad de su terminal. Por lo tanto en el caso del handover las características requeridas serían por ejemplo un límite máximo de llamadas perdidas debido a este, un tiempo máximo de interrupción de la comunicación etc.

V. 3. 3. 4. EL PLANO FUNCIONAL GLOBAL.

Dicho plano, fundamental para los diseñadores de nuevos servicios, contempla a la RI como una entidad única, una plataforma sobre la que se sitúan las capacidades que proporciona la red, dichas Capacidades Funcionales (CF's o en inglés Service Independent Building Blocks (SIB's)) son por lo tanto independientes de su distribución en la red así como independientes de los servicios. Un servicio concreto se inicia cuando una instancia para ese servicio es detectada en una CF especial representando el proceso de llamada (modelo global de llamada), dicha instancia pone en marcha la Lógica de Servicio (LS) específica para ese caso concreto, que proveerá dicho servicio combinando las CF's adecuadas.

Dos inconvenientes fundamentales dificultan la modernización de la función de handover mediante CF's y LS:

- El proceso de handover esta íntimamente relacionado con los elementos físicos de la red a los que debe controlar como la selección y/o re-encaminamiento de conexiones etc. Este hecho choca con la definición de dicho plano que en principio es completamente independiente del tipo de arquitectura existente en la red. Otro aspecto importante, en parte consecuencia del anterior, es la necesaria diferenciación que debe hacerse en el handover entre un nivel de llamada y un nivel de conexión inexistente en la actual RI (Se están estudiando modificaciones en ese sentido para poder aplicar el concepto de plataforma inteligente a la red de banda ancha RDSI-BA, red que también requiere este tipo de diferenciación).
- El handover junto con otras funciones "de movilidad" no están ligadas al proceso de la llamada, es decir, que pueden ocurrir aunque no exista ninguna llamada en curso y en el caso de que se produzcan durante la llamada pueden tener lugar en cualquier fase de la misma y no sólo en las fases de establecimiento y liberación como ocurre con los servicios del conjunto de capacidades de RI-1 (Capability Set-1, CS-1).



Resumiendo, las principales novedades que debería contemplar la RI serían: Separar niveles de conexión y llamada; Permitir la existencia de servicios desligados del proceso de llamada.

La solución que se propone a continuación intenta englobar esos cambios basándose en la sustitución de la CF del modelo global de llamada por otra CF más general denominada Modelo Global de Sesión. Dicha CF engloba dos CF's: el Modelo Global de Conexión y el Modelo Global de Llamada. En la figura V.49 se representa como estaría organizado el nuevo PFG.

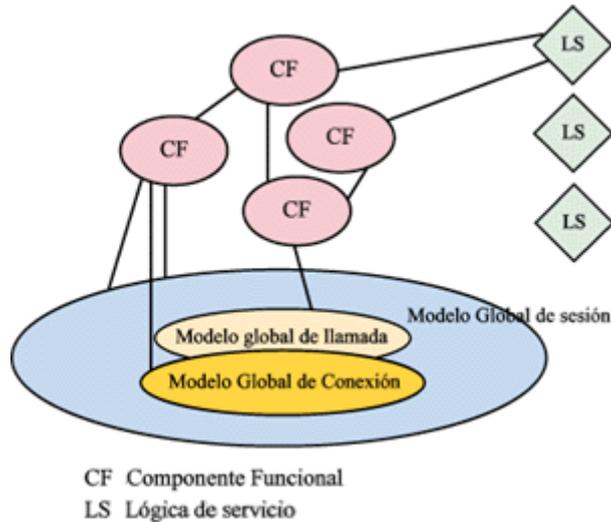


Figura V.49 Plano Funcional Global

Con este nuevo modelo pueden realizarse instancias a servicios fuera del proceso de llamada/conexión(es) y además se añade una división lógica entre conexión y llamada.

Un móvil al conectarse dentro de la zona de cobertura del UMTS inicia una sesión, a partir de ese momento toda una serie de servicios serán requeridos aunque no exista ninguna llamada. Si esta se produce, a dichas funciones encargadas de mantener la sesión se sumaran los servicios relacionados con la llamada, pudiendo desarrollarse en cualquier fase de esta (se elimina la limitación existente de los servicios del CS-1). Por otro lado, se incluye la separación entre funcionalidades afectando la llamada ("edge by edge signalling") y la conexión(es) ("link by link signalling").

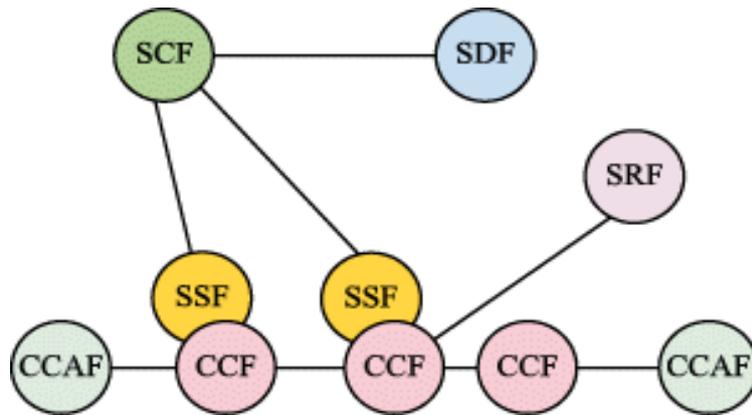
V. 3. 3. 5. EL PLANO FUNCIONAL DISTRIBUIDO.

Es la herramienta de trabajo para los diseñadores y proveedores de la red. En él, la arquitectura funcional de la RI es descompuesta en unidades de funcionalidad de red, denominadas Entidades Funcionales (EF's). Cada EF ejecuta diferentes acciones en la red, pero todas ellas están localizadas en la misma entidad física. Una CF requiere la ejecución coordinada de un conjunto de acciones en una o más EF.



Si se trata de aplicar la arquitectura del PFD valida para el CS-I (figura V. 50) al servicio de handover aparecen dos tipos de problemas:

- En primer lugar los inconvenientes que ya se encuentran en el plano global (p.e. no diferenciación entre conexión y llamada).
- En segundo lugar la existencia de un control de servicio centralizado (una única SCF).



SCF: Función de Control de Servicio	CCF: Función de Control de llamada
SDF: Función de Datos de Servicio	CCAFF: Función de Agente de Control de Llamada
SSF: Función de Conmutación de Servicio	SRF: Función de Recursos Especializados

No se han incluido las funciones relacionadas con la gestión del servicio

Figura V.50 Modelo funcional de la Red Inteligente CS-1

El primer punto ya ha sido tratado en el plano global (sección anterior), en cuanto al segundo puede considerarse como uno de los mayores inconvenientes que plantea la introducción de un servicio como el handover dentro de la inteligencia de red. En efecto, en el caso de un esquema centralizado de control de servicio (una única SCF) todo debe ser controlado en un sólo punto a un nivel alto en la red. Teniendo en cuenta la elevada frecuencia y rapidez con que debe realizarse el proceso de handover, eso supone, por un lado un elevado tráfico de señalización y por otro unos requerimientos en los retardos permitidos difíciles de conseguir, utilizando un control distribuido será posible minimizar los retardos y eliminar tráfico de señalización innecesario.

Si se analiza con más detalle y de forma general cuales son las características que hacen que un determinado servicio (o mejor dicho que una determinada función perteneciente a un servicio) este adaptada para un control centralizado se obtiene el conjunto de características representado en la figura V.51.

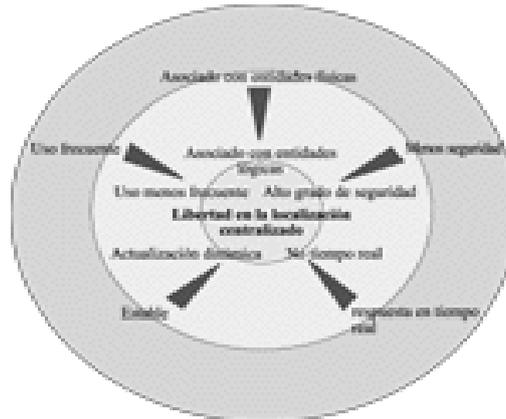


Figura V.51 Criterios para la localización de las EF's en las que puede dividirse un servicio

Si aplicamos el diagrama al handover resulta evidente que gracias sobre todo a las características de tiempo real, asociación con entidades físicas y alta frecuencia, el handover necesita de un control distribuido. Una posible solución sería considerar diferentes esquemas para diferentes tipos de funciones, yendo desde un esquema centralizado, es decir, una (o unas pocas SCF's idénticas) SCF's que realizaría todas las funciones completamente independientes de las entidades físicas hasta un esquema distribuido donde múltiples SCF más especializadas realizaran las funciones que por una razón u otra deben estar localizadas cerca de las entidades físicas a las que afectan.

De esta forma, un sistema donde coexistieran los dos tipos de esquemas, se tendría una(s) SCF compleja incluyendo un gran conjunto de funcionalidades realizando el control centralizado de todas las funciones que lo permitieran, mientras que por otro lado se encontrarían SCF's mucho más modestas, localizadas cerca de las entidades físicas a las que afectarían conteniendo solamente esas funciones concretas que precisan un control distribuido. Para que este esquema distribuido fuera viable sería absolutamente necesario un sistema que permitiera una estrecha relación entre todas las SCF's existentes de forma que se pueda proveer un servicio de forma global.

Para introducir el handover sería necesario añadir unas nuevas entidades funcionales a las definidas en CS-1. Estas entidades funcionales estarían destinadas a realizar las siguientes funciones:

1. Recolectar y pre-procesar las medidas de la portadora radio.
2. Combinar señales, macrodiversidad. Función encargada de seleccionar la mejor señal entre las que provienen de las diferentes estaciones base en caso de macrodiversidad.
3. Conmutación y 'bridging' de portadoras.
4. Establecimiento y liberación de portadoras.
5. Transferencia de control de servicio entre SCF's situados en diferentes CL's.



La figura V. 52, representa un ejemplo de una posible arquitectura funcional del UMTS asumiendo una arquitectura funcional de RI distribuida.

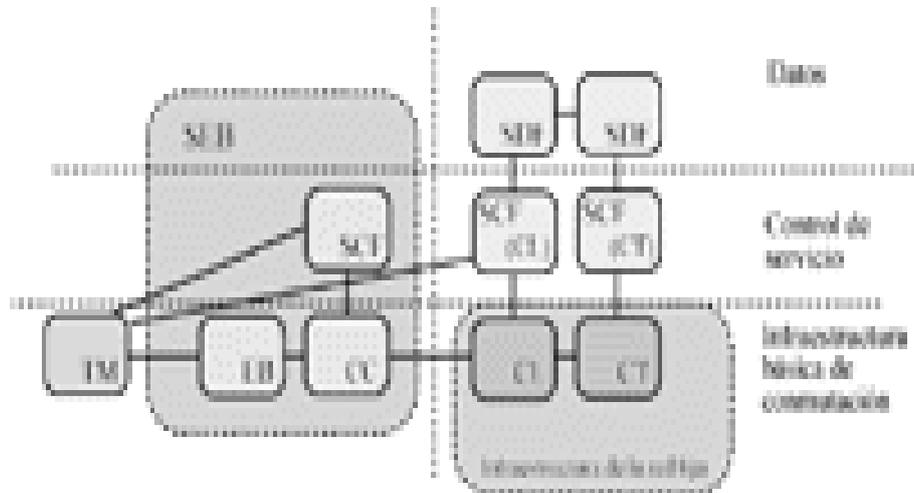


Figura V.52 Arquitectura funcional del UMTS

Una característica importante de esta arquitectura es la completa separación (siguiendo los conceptos aplicados en la RI) entre la infraestructura básica de conmutación (central local, central de tránsito) y las funciones de control de servicio. Con ello se consigue que todas las funciones propias del sistema UMTS estén situadas fuera de la infraestructura de conmutación, evitando que la movilidad se vea ligada a una red en particular (específica para UMTS) como ocurre en las redes móviles actuales.

El requerimiento de un control distribuido queda reflejado en naturaleza distribuida de la red. SCF's situados tanto a nivel del subsistema de estaciones base como en las centrales locales y centrales de tránsito permite que las funciones de control del handover estén lo más cerca posible del punto de 'bridging' consiguiendo a unos enlaces de señalización lo más cortos posibles.

V. 3. 3. 6. EL PLANO FÍSICO.

Es la herramienta utilizada por los operadores de red y los proveedores de equipos. Este plano describe las diferentes alternativas para la arquitectura física de la RI. Para ello, define unas Entidades Físicas (EFI's) y las interfaces existentes entre ellas. Cada una de esas EFI realizara las funciones incluidas en una o más EF's mientras que una o más de las relaciones entre EF's especificadas en el PFC serán mapeadas dentro de una interfaz física.



V.3.4. EJEMPLOS DE PROCEDIMIENTOS UTRAN: ESTABLECIMIENTO DE UNA LLAMADA ORIGINADA EN EL MÓVIL

En la siguiente figura V.53, se muestra cómo interactúan los protocolos en los distintos interfaces para establecer una llamada originada en el móvil.

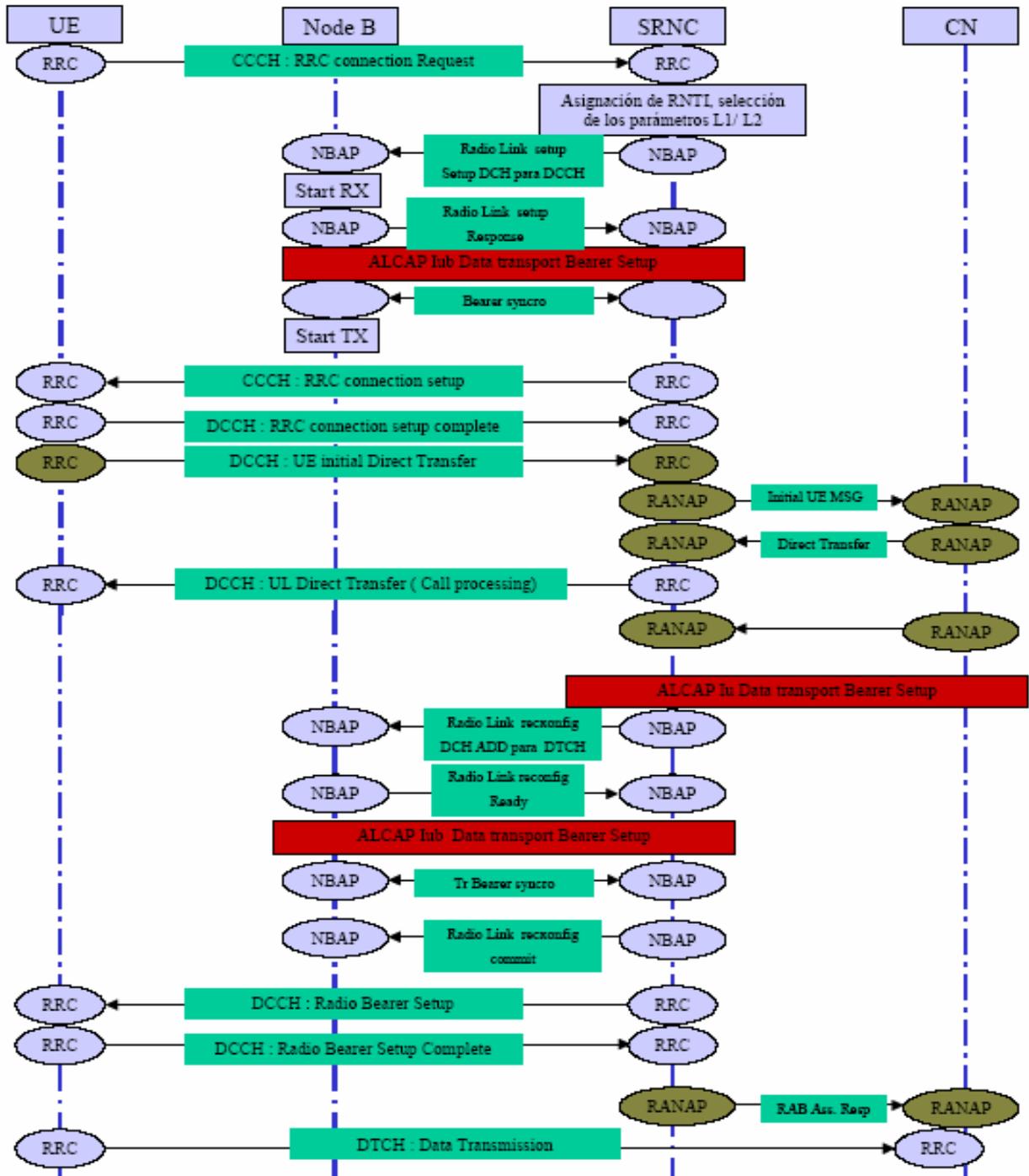


Figura V.53 Ejemplo de procedimiento UTRAN.



V.3.5. EVOLUCIÓN DE LA RED DE ACCESO.

A continuación se describen las principales características de la red de acceso UTRAN y el CN para las diferentes releases:

R-99

- Red de Acceso Radio basada en ATM.
- Núcleo de red GSM+GPRS.

R4

- Red de Acceso Radio basada en ATM.
- Dominio CS independiente de transporte.
- Voz/ATM y Voz/IP.
- Arquitectura all IP.

R5

- Red de Acceso Radio basada en IP.
- Problemas a resolver.
- Sobrecarga de cabeceras IP.
- Multiplexación de tráfico de varios usuarios.
- Segmentación de paquetes de datos.
- Soporte de mecanismos de Qos en IP.
- Integración total.

V.4 NÚCLEO DE RED (CORE NETWORK).

El núcleo de red incorpora funciones de transporte (de la información de tráfico y señalización, incluida la conmutación) y de inteligencia (aquí se incluye el encaminamiento, además de la lógica y el control de ciertos servicios, y la gestión de la movilidad).

En UMTS se ha buscado definir un núcleo de red universal, que pueda gestionar distintos tipos de red de acceso radio y conectarse a distintos tipos de redes fijas. En una primera fase se parte de la red troncal GSM, con lo que se busca minimizar costes y facilitar la evolución.

Como ocurría en GSM/GPRS, en la primera fase de UMTS el núcleo de red se ha dividido en dos dominios: el de conmutación de circuitos (Circuit Switch, CS) y el de conmutación de paquetes (Packet Switch, PS). A través del modo CS, se encaminarían los tráficos de voz y datos en modo circuito, y el modo PS haría lo propio con el tráfico de datos en modo paquete.



Los elementos funcionales comunes a los dos dominios (ver la Figura V.54) son:

- El elemento HLR (Home Location Register). Esta entidad funcional es una base de datos encargada de la gestión de los clientes. Hay varios HLR en una red móvil, dependiendo del número de clientes y de cuántos pueda manejar cada uno. Esta base de datos contiene informaciones tales como las relativas a los servicios contratados, la restricción de servicios (por ejemplo, limitaciones en la itinerancia), los servicios suplementarios (información acerca del estado de la llamada en curso y del número llamado), la localización del cliente (área de VLR), etc.
- El elemento VLR (Visitor Location Register). Es el registro en el que una red UMTS almacena datos temporales sobre los terminales móviles, que se encuentran momentáneamente en el área controlada por una MSC concreta. Cuando uno de estos terminales entra en una nueva área de localización comienza un procedimiento de registro, mediante el cual la MSC a cargo de dicha área toma nota del evento, y comunica a su VLR la identidad del área de localización en la que se encuentra el móvil. Si el móvil no estaba ya registrado en el VLR, éste y el HLR se intercambian la información necesaria para permitir gestionar los servicios que solicite dicho móvil.
- El elemento AAA (Authentication, Authorization, Accounting). Es una entidad que almacena los datos de cada cliente para permitir que el IMSI sea autenticado y se cifren las comunicaciones, en la parte radio, entre el terminal móvil y la red. Además, realiza las funciones de seguridad y tarificación para las comunicaciones en modo paquete.
- El elemento EIR (Equipment Identity Register). Es la entidad lógica responsable del almacenamiento en la red de los IMEI's (Internacional Mobile Equipment Identities, o identidades de los equipos terminales). Los equipos se asignan a una lista blanca, gris o negra, atendiendo a su situación como tales equipos. Es decir, que puedan operar sin restricciones en la red, que deban ser objeto de cierto seguimiento o que tengan prohibido el servicio, respectivamente.
- El elemento SMS-GMSC (Short Messages Services Gateway MSC). Actúa como una interfaz entre el centro de servicios de mensajes cortos y la PLMN, para permitir que los mensajes cortos se entreguen a los terminales móviles desde el centro de servicios.
- El elemento SMS Interworking MSC (Short Messages Services Interworking MSC). Actúa como una interfaz entre las MSC y el centro de servicios de mensajes cortos, para permitir que los mensajes cortos se envíen desde los terminales móviles al centro de servicios.

Los elementos particulares del dominio CS son:

- El elemento U-MSC (UMTS Mobile-services Switching Centre), que constituye la interfaz entre el sistema móvil y las redes fijas. Realiza todas las funciones necesarias para manejar los servicios de conmutación de circuitos desde y hacia los terminales móviles. La principal diferencia entre una U-MSC y una central de conmutación clásica de una red telefónica fija es que la U-MSC debe tener en cuenta el impacto de la asignación de recursos de radio y la naturaleza móvil de los



terminales. Ello supone que debe realizar los procedimientos de registro, de localización y de traspaso.

- El elemento U-GMSC (UMTS Gateway MSC). Cuando una red, al entregar una llamada a la PLMN (Public Land Mobile Network), no puede interrogar al HLR, la encamina hacia una U-GMSC, que es la que se encarga de interrogar al HLR correspondiente, y de dirigir, posteriormente, dicha llamada a la MSC de la que depende el móvil en cuestión.
- El elemento IWF (Inter Working Function). Es una entidad funcional asociada a la U-MSC. El IWF proporciona la funcionalidad necesaria para permitir el interfuncionamiento entre una red UMTS y otras redes fijas (ISDN, PSTN y PDN's). Sus funciones dependen de los servicios y el tipo de la red fija. Incluso puede llegar a no tener función alguna cuando ambas redes sean compatibles.

Por último, los elementos específicos del dominio PS son:

- El elemento U-SGSN (UMTS Serving GPRS Support Node), que es el nodo servidor de las comunicaciones en modo paquete. Almacena dos tipos de datos del terminal (necesarios para manejar las llamadas de datos, originadas y terminadas en el móvil): la información del terminal y la información de localización.
- El elemento U-GGSN (UMTS Gateway GPRS Support Node), que es el nodo frontera de las comunicaciones en modo paquete. Almacena dos tipos de información (necesaria para manejar las llamadas de datos originadas y terminadas en el terminal): la identidad del terminal (IMSI y cero o más contextos PDP2) y la información de localización (la dirección del nodo U-SGSN en el que el terminal está registrado). Adicionalmente, para realizar el soporte de los servicios multimedia IP, se considera la inclusión de nuevos elementos de red, como son:
 - El elemento BG (Border Gateway). Es una pasarela entre una PLMN que soporta GPRS y una red de conexión entre PLMNS, utilizada para interconectar con otras PLMN que también soportan GPRS. El papel de la BG es aportar el nivel de seguridad apropiado para proteger a la PLMN y a sus terminales.
 - Los elementos SIP y H.323. Son dos servidores que gestionan el control del servicio de voz sobre IP, así como los servicios multimedia.

La estrategia adoptada de dividir la red troncal en los dos dominios de conmutación descritos tiene la ventaja de que facilita al máximo la migración hacia las redes 3G a partir de las 2G, como ya se ha comentado anteriormente. Sin embargo, constituye a la vez un freno para el soporte de servicios más avanzados.

Por ello, ya desde los comienzos del sistema se planteó la necesidad de evolucionar hacia conceptos más modernos y versátiles; asegurando la coexistencia e interoperabilidad de las redes 2G y 3G.

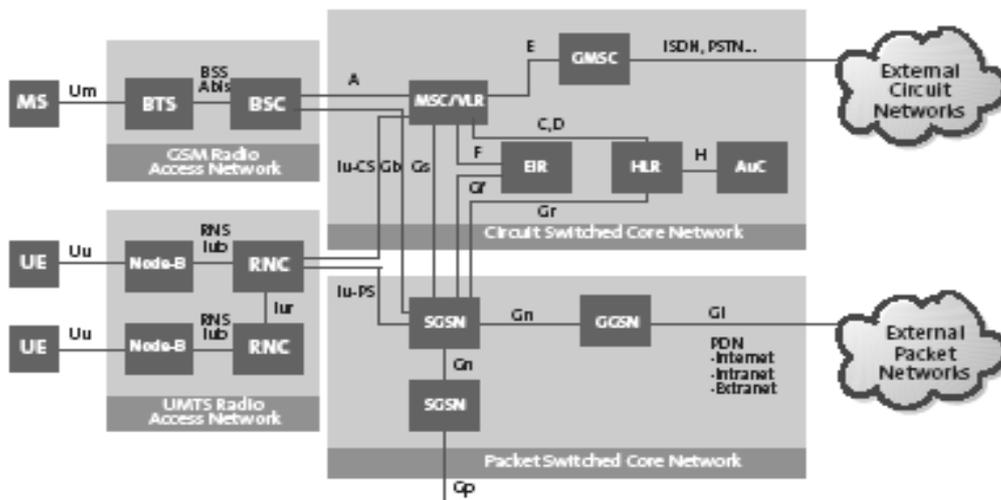


Figura V.54 Elementos funcionales de la red troncal (Release 99)
GSM Radio Access Network: Red de acceso radio GSM
UMTS Radio Access Network: Red de acceso radio UMTS
Circuit Switched Core Network: Red troncal (conmutación de circuitos)
Packet Switched Core Network: Red troncal (conmutación de paquetes)
External Circuit Networks: Redes externas (por conmutación de circuitos)
External Packet Networks: Redes externas (por conmutación de paquetes)

V.5 TERMINAL UMTS (UE).

La terminal UMTS es el elemento de la red más visible de este sistema. Esta ha sido considerada principalmente como un elemento, el cual provee la interfase y los servicios para el usuario.

V.5.1 ARQUITECTURA DE LA TERMINAL.

Esta terminales oficialmente llamada User Equipment (*Equipo de Usuario*) (UE) o en otras palabras es el terminal móvil en UMTS. Desde el punto de vista de la red, la UE es el responsable de las funciones de comunicación, las cuales se necesitan en el otro lado de la interfase de radio.

La función obligatoria de una terminal UMTS esta relacionada principalmente entre la interacción de la terminal y la red. Las siguientes funciones son consideradas obligatorias para todas las terminales UMTS:

- Una interfase para insertar una tarjeta integrada llamada USIM (Universal Subscriber Identity Module)(Modulo Universal de Identificación del Usuario).
- Proveedor de servicio, conexión y desconexión de la red.
- Actualización de ubicación.
- Origina y recibe conexión orientada.
- Una identificación inalterable del equipo (IMEI).
- Identificación básica de las capacidades de la red.
- Debe ser capaz de soportar llamadas de emergencia sin un USIM.
- Soportar la ejecución de algoritmos requeridos para la autenticación y cifrado.



Además de las funciones obligatorias de la terminal, las cuales son esenciales para la operación de la red, el terminal UMTS debe también soportar las siguientes funcionalidades adicionales para facilitar su evolución en un futuro:

- Una capacidad de interfaz programada (API).
- Un mecanismo para descargar información de servicios relacionados (ejem. Software), nuevos protocolos, otras funciones y nuevas API's dentro de la terminal.
- Mantenimiento del ambiente virtual de la terminal (VHE) usando la misma interfaz de radio y/o otras interfases.
- La inserción opcional de diferentes tarjetas de circuito integrado (IC).

La UE es frecuentemente presentada como un sencillo dispositivo monolítico por que el mismo proveedor ha proporcionado al dispositivo como físicamente indivisible. Pero en sistemas móviles sofisticados el equipo del usuario es frecuentemente visto como una serie de módulos interconectados con un grupo independiente de funciones. Estos módulos pueden también ser algunas veces implementados físicamente en partes separadas. En algunos casos, estos grupos o subgrupos funcionales tienen su propia contraparte en el lado de la red.

Por ejemplo, una de las principales novedades en el sistema GSM fue la separación física del SIM y parte dependiente del sistema general de telecomunicaciones. Esta es una buena idea para heredar al sistema UMTS. Esta idea habilita las suscripciones y operadores así como a la terminal física para ser independiente del uno al otro. Otra importante separación es entre la red de acceso y las partes dependientes de la red central. En la figura V.55, se muestra la arquitectura del UE.

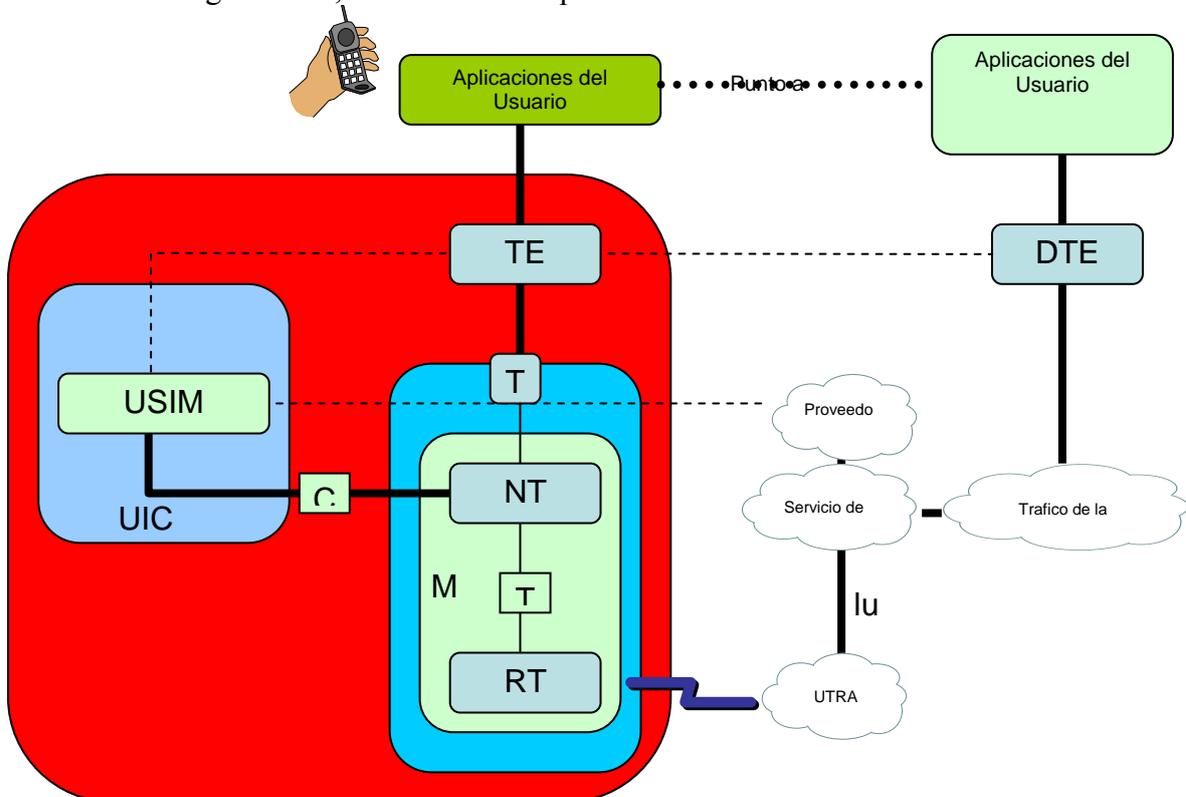


Figura V.55 La arquitectura del UE.



La UE consiste del ME (Equipo Móvil), TE (Equipo Terminal) y la USIM (Modulo Universal de Identificación del Suscriptor).

El USIM es la parte dependiente del usuario del UE. El USIM es básicamente un concepto lógico y este es físicamente implementado dentro de una tarjeta integrada. La tarjeta integrada, que puede también contener alguna aplicación de software o aun múltiples USIM's es frecuentemente llamada Universal Integrated Circuit Card (UICC). Esta tarjeta tiene una capacidad de 128 Kb. También ofrece otras funcionalidades o mejoras complementarias respecto a las tarjetas antiguas de 32 ó 64 Kb, como su mayor capacidad de almacenamiento de mensajes cortos; la posibilidad de almacenar 250 entradas en la agenda de contactos frente a las 100 ó 150 de las SIM anteriores; el acceso al servicio avanzado de llamadas perdidas, que ofrece información enriquecida en las llamadas que el cliente recibe cuando la terminal esta apagada o fuera del área de cobertura. Dicha tarjeta esta asociada a un usuario que se puede identificar independientemente del ME usado; por lo tanto, UMTS soporta la movilidad personal porque las llamadas van dirigidas a una identidad de un usuario y no de una terminal. El ME es la parte independiente del usuario del UE, el cual consiste en diferentes módulos.

El TE es el equipo que provee las funciones del usuario final. Este tiene interacción con la parte de la terminal móvil vía la terminal de adaptación (TA), como se muestra en la figura anterior. El equipo terminal finaliza con la plataforma del servicio de comunicación. El TE puede por ejemplo, controlar en MT usando el MODEM de control definido por el ITU-T.

El MT es la parte del equipo del usuario, la cual finaliza la transmisión de radio y adapta las capacidades del equipo terminal. El MT tiene la habilidad para cambiar su ubicación dentro de la red de acceso o moverse a un área de cobertura de otro acceso implementando la misma tecnología de acceso, el MT también finaliza los servicios del sistema UMTS.

El grupo funcional Network Termination (NT) del MT es la parte dependiente de la red central del MT. El NT usa los protocolos de estrato de no acceso para el manejo de la movilidad (MM/GMM (Mobility Management/ GPRS Mobility Management)) y manejo de comunicación (CC/SM (Call Control/ Session Management)).

El grupo funcional Radio Termination (RT) del MT es relacionado con la red de acceso. El RT contiene las funciones comunes para todos los servicios usando la misma tecnología de acceso. El RT usa los protocolos de estrato de acceso como el control de acceso al medio (MAC), control de enlace de radio (RLC) y el control de recursos de radio (RRC) en lo alto de la conexión física. Por lo tanto, el RT es visto como la terminal desde el punto de vista de UTRAN.

En seguida se presenta un resumen de los grupos en el UE:

	Dependencias.	Fin en el lado de la terminal.	Contraparte en el lado de la red.
UE	Aplicación del usuario o parte independiente de la interfaz del usuario.	Termina la aplicación independiente del sistema telecomunicaciones entre usuarios.	Correspondiente al equipo del usuario móvil o fijo atrás del tránsito de las redes.
USIM	Parte dependiente de la	Termina las funciones de	Básicamente los registros



	suscripción del usuario.	control del usuario en principio dentro de su proveedor de red.	del proveedor de red (por ejemplo HLR y AuC manejadas por el operador.
ME	Independiente de la suscripción del usuario, dependiente del sistema móvil.	Terminan todas las funciones de control y soporta a UMTS a nivel de usuario.	Toda la red UMTS.
TE	Dependiente de la plataforma del servicio de telecomunicaciones, dependiente básicamente del sistema móvil.	Termina los servicios de telecomunicación transportados por las portadoras UMTS	El equipo terminal par atrás de las redes externas.
MT	Dependiente del sistema UMTS, independiente básicamente del servicio de telecomunicaciones.	Termina los servicios del sistema UMTS.	El sistema UMTS manejado por el operador del acceso activo.
NT	Dependiente de la red central, independiente de la red de acceso.	Termina los servicios de la red central UMTS.	Red central (CN).
RT	Dependiente de la tecnología de la red de acceso, independiente de la red central.	Termina los servicios de UTRAN.	UTRAN.

La distribución de las identidades principales se muestra en la figura V.56:

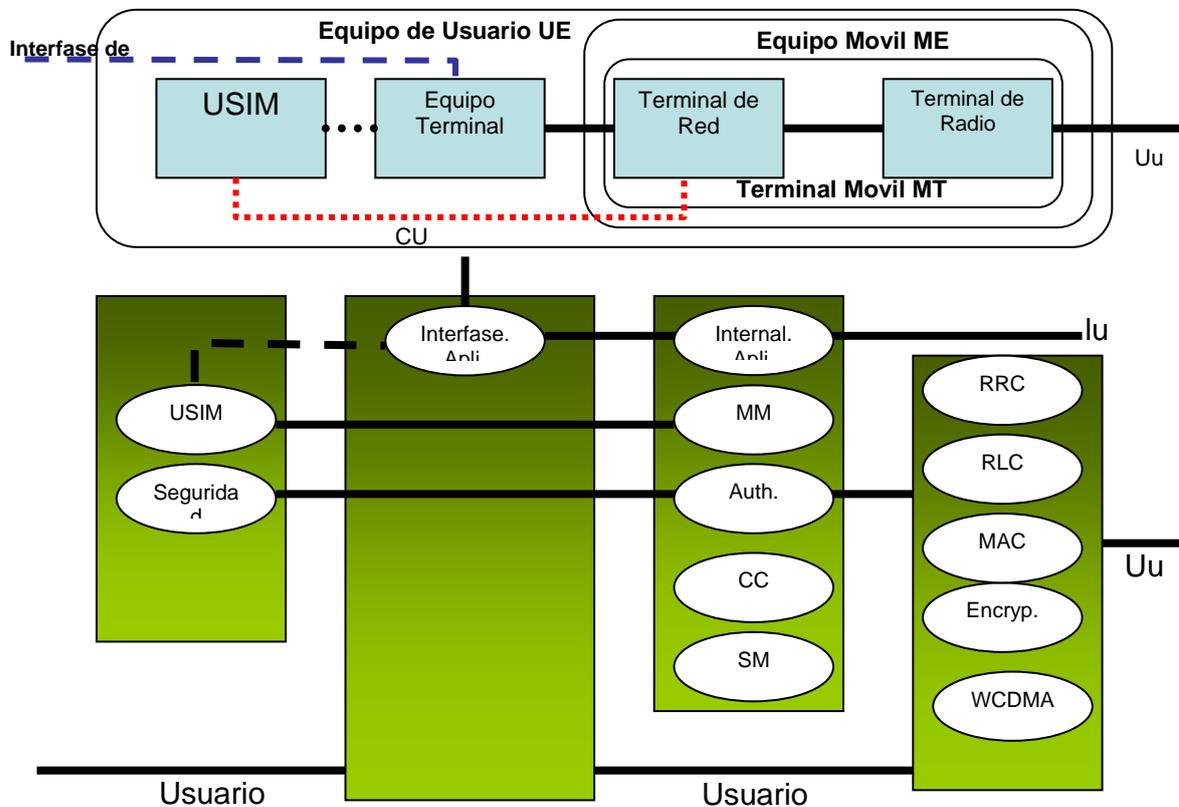


Figura V.56 Distribución de las identidades principales.



En algunos casos los protocolos actuales pueden terminar en otro elemento de la red por razones de optimización. Por ejemplo, el protocolo de control de manejo de movilidad entre la USIM y el HLR frecuentemente termina en el MSC/VLC o en el SGSN (Serving GPRS Support Node) en la red registrada, por que la información actual desde el HLR es frecuentemente duplicada allí.

Aunque la arquitectura del lado de la red y la terminal difieren el uno al otro algunas interfaces pueden ser identificadas en ambos lugares. Naturalmente, la interfaz de radio usada Uu es exactamente la misma.

El punto de referencia Tu (Ver figura V.5.1) conecta simultáneamente las partes específicas de la UTRAN y la CN en el lado de la terminal como la Iu lo hace en el lado de la red.

La interfaz Cu corresponde a las interfaces D, C, Gr y Gc en la CN que conecta a los elementos de la red como el conmutador (MSC y GMSC) o ruteador (SGSN o GGSN) para los elementos de registro de la red (HLR, AuC) en el proveedor de la red. Estas interfaces son estandarizadas en ambos lados. En el lado de la terminal porque hay una interfase entre los operadores y operadores del equipo móvil en la Cu. En el lado de la red porque hay interfaces entre los operadores locales y de registro.

V.5.2 DIFERENCIAS ENTRE LAS TERMINALES.

La terminal UMTS tiene muy diversos requerimientos y estos no están precisamente ligados como se muestra en la figura V.57.

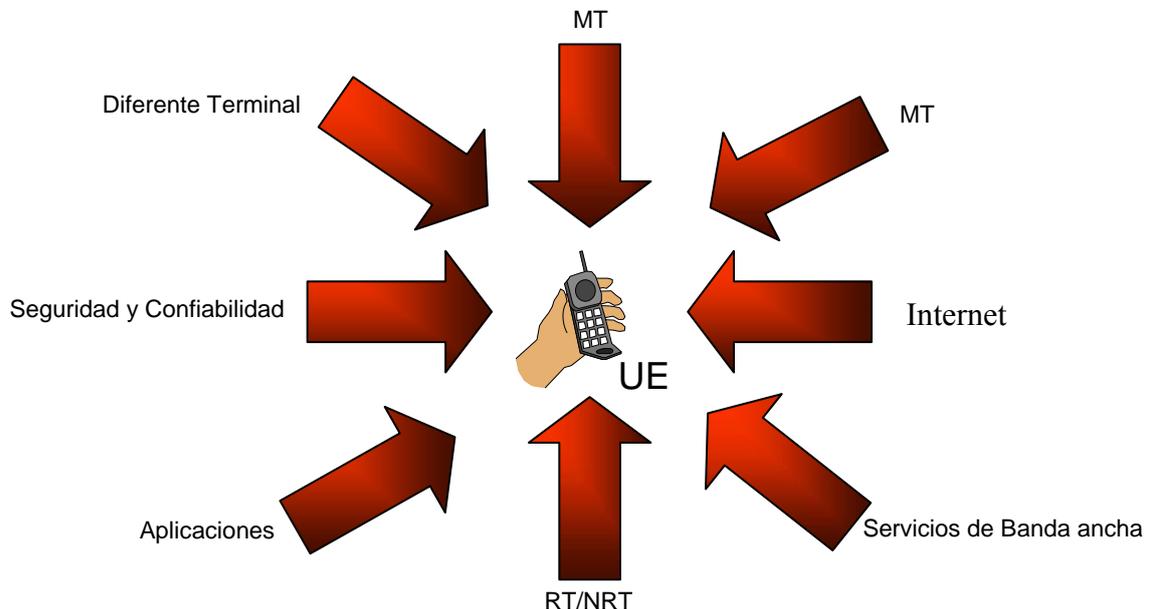


Figura V.57

Esto incrementa la complejidad del equipo y tendrá su efecto en el precio del mismo. Si el precio del equipo es muy alto esto incrementara el riesgo de la implementación de la red.



Esto junto con muchos otros factores causara diferencias en las terminales. Estas diferencias ya están visibles en el mercado GSM, donde ciertos modelos de MS están dirigidos a consumidores y algunos otros a empresas. Esto mismo pasara en 3G lo que causara segmentación en los mercados de las terminales.

Una notable característica de las terminales de 3G es que está tiene, aún en su forma básica dos diferentes clases de dominios disponibles, la red conmutada de paquetes (PS) para los servicios de paquetes y la red conmutada de circuitos (CS) para los servicios de circuitos.

Desde el punto de vista de la terminal, esto resulta en tres modos diferentes de operación:

- En el modo de operación PS/CS la terminal es enganchada a ambos dominios el PS y el CS; la terminal es capaz de proveer simultáneamente ambos servicios de conmutación por paquetes y de circuitos. La terminal puede tener una oportunidad para optimizar los procedimientos de la actualización de ubicación si la red soporta la interfaz opcional Gs entre MSC/VLR y SGSN para este propósito. En este caso la terminal puede escoger de acuerdo a sus capacidades ya sea para usar procedimientos de actualización combinados o separados. En el procedimiento de actualización de ubicación combinada la terminal informa sólo acerca de una nueva ubicación del SGSN y el SGSN informa entonces acerca del área de ubicación actual del MSC/VLR.
- En el modo de operación PS la terminal es enganchada sólo al dominio PS y únicamente puede proveer servicios sobre este mismo dominio. El mejor ejemplo de un servicio en modo de conmutación de circuitos que puede ser también implementado como un servicio de conmutación de paquetes es la voz sobre IP (VoIP).
- En el modo de operación CS la terminal es enganchada sólo al dominio Cs y exclusivamente puede proveer servicios de este dominio. Sin embargo este no previene servicios de paquetes sobre el dominio Cs. Esto es aún posible que en algunos servicios de paquetes en tiempo real especialmente con alto requerimiento de QoS son prácticamente más usados sobre el dominio Cs con una tasa constante de bits asignada aunque ellos pueden ser conmutados por paquetes en redes externas.

La separación de las funciones del RT y el NT en el equipo móvil permite la clasificación del equipo del usuario de acuerdo a la capacidad de la MT para usar varias tecnologías de re acceso y de red central. Las siguientes son alternativas básicas, las cuales son teóricamente posibles:

- El Single Radiomodel MT puede utilizar un tipo de interfaz de radio para el tráfico. En UMTS, la interfaz de radio preferente es WCDMA-FDD, la cual es por lo tanto un típico ejemplo de un Single Radiomodel MT.
- El Multiradiomode MT puede usar varias terminales de radio para el tráfico. Un caso interesante en esta categoría es una terminal de modo dual GSM/UMTS, para la cual la interoperación es bien definida en la especificaciones de la 3GPP. Esta clase de terminal habilita a usar servicios de 2G cuando por fuera la cobertura de la red es por WCDMA. Otra implementación puede ser una terminal UMTS con capacidad de acceso UTRAN y GERAN.



- La Single Network MT puede utilizar un sólo tipo de red central. Una terminal UMTS la cual es capaz de utilizar al menos uno de los modos de operación: PS, CS o PS/CS es un ejemplo de Single Network MT.
- Multinetwork MT es capaz de usar varias redes centrales. Además de la red central UMTS una terminal típica de esta clase también soporta el GSM NSS.

Todas estas alternativas ofrecen la base para la implementación de la terminal, pero algunas de las alternativas pueden no ser atractivamente comerciales debido a la implementación complicada y/o altos costos de esta. De otra forma, UMTS es introducido para un mercado celular maduro, donde abundan servicios de 2G que ya están disponibles.

Las primeras redes UMTS serán implementadas con éxito de GSM y esto demandara que las terminales UMTS sean capaces de tener roaming. Esto también requerirá que los operadores de redes desde una terminal puedan usar ambos accesos como GSM y WCDMA, lo cual es más atractivo y utilizable benéficamente desde ambas infraestructuras de red de acceso. El servicio de voz conmutado de circuitos es especialmente el causante de esta demanda debido a que suscriptores esperan que sus llamadas no se caigan debido a la cobertura limitada en las primeras instalaciones de red UMTS. En este caso el Multiradiomode MT es una forma para expandir la cobertura de la red.

Por lo tanto, las terminales UMTS serán en comienzo en los modos Multiradiomode MT y Multinetwork MT. Tal terminar UMTS proveerá una plataforma para una serie de servicios muy variados. Alguien más podría ver que los servicios de conmutación de paquetes como necesarios, si la terminal tiene habilidad para mejorar toda clase de servicios, su implementación será muy compleja y cara. También algunos suscriptores pueden no estar conformes por pagar servicios que ellos no consideren necesarios o relevantes.

Basado en los suscriptores y sus necesidades, también tomando en cuenta posibilidades de acceso de banda ancha, se distinguen los cuatro principales terminales:

1. Terminal Clásica: Este es equivalente al teléfono celular presente; esta diseñada para ser barata y por lo tanto esta contiene facilidades limitadas como acceso por conmutación de circuitos y acceso limitado de datos con tasas bajas de bits, los cuales son mejores en los sistemas GSM y GPRS. Esta terminal es capaz para manejar ambos accesos de radio GSM y WCDMA pero no necesariamente de forma simultanea. Esta clase de terminal puede ser una clase de extensión de GSM, su valor de uso esta basado sobre las redes existentes GSM y WCDMA que son usadas ocasionalmente, principalmente por conexiones de conmutación de paquetes.
2. Modo Dual: Este tipo de terminal contiene ambos accesos, GPRS y WCDMA, este puede seleccionar automáticamente el método de acceso basado sobre la cobertura disponible el servicio requerido, por ejemplo, las llamadas de voz son típicamente conectadas a través del GSM, pero los servicios de datos y multimedia a través de WCDMA. Este tipo de terminal es capaz de usar las ventajas de ambos accesos lo cual le permite realizar un sistema interno de handover en ambas direcciones. De este modo, el tipo de terminal implementa simultáneamente Multinetwork MT.



3. Terminal de Multimedia: Es parecida a la terminal anterior pero más inteligente desde el punto de vista de la red. El modo dual no necesariamente maneja las portadoras de radio UTRAN de la mejor forma pero la terminal multimedia es capaz de realizar un óptimo múltiplexaje de las portadoras usadas para multimedia, esta capacidad ahorrativa es un aspecto muy importante cuando las redes UMTS se desarrollan. La terminal multimedia es una combinación de teléfono celular, palm y laptop. Esta contiene abundantes aplicaciones para manejar los servicios y conexiones de multimedia, este tipo de terminales en un principio está dirigido a las empresas.
4. Terminales Especiales: Estas terminales no necesariamente tienen un aspecto de teléfono como las anteriores. Estas terminales sirven para que se integren junto con otro tipo de equipos. Estas clases de terminales podrían ser por ejemplo, localizada en un carro y esta podría trabajar conjuntamente con la computadora del vehículo, por si es robado el carro esta se activaría y podría indicar la ubicación del carro robado, con ayuda de GPS (Sistema de Posicionamiento Global). Los tres tipos de terminales implementan más o menos el modo de operación CS/PS; este tipo de terminal utilizará sólo el modo PS y las áreas de aplicación pueden ser muy diversas. La terminal especial descrita aquí podría ser el equipo integrado de comunicación que establece la conexión en este caso.



V.5.3 CAPACIDADES DE LAS TERMINALES.

Una terminal y una red arbitraria deben ser capaces de alguna forma de negociar cuales son las posibilidades básicas o alternativas que ellos pueden usar mutuamente. El UMTS ha adoptado el sistema GSM para la negociación. Las redes informan a sus Ue's por medio de difusión mucha de la información del sistema diciendo a los Ue's sobre las capacidades de la red. El UE conoce sus propias capacidades e informa a la UTRAN o a la CN.

La información básica acerca de las capacidades de un UE es llamada Mobile Station Classmark. Durante la evolución en la tecnología del sistema móvil el número de alternativas ha ido creciendo y por lo tanto también el concepto Classmark ha ido actualizándose.

El tamaño más pequeño de Classmark 1 fue de dos octetos, el Classmark 2 fue de cinco octetos y el Classmark 3 tiene un tamaño máximo de catorce octetos. Classmark 1 y Classmark 2 son utilizados en GSM. En UMTS Classmark 2 puede ser caracterizado como "CN Classmark" y Classmark 3 como "RAN Classmark".

Típicamente la información acerca de las capacidades de un EU en la estación Móvil Classmark 3 es:

- Disponible para los modos WCDMA como FDD y TDD.
- Capacidades de modo dual, por ejemplo, soportar diferentes variantes de sistema GSM con bandas de frecuencias soportadas y otras características especiales.
- Disponible para la escritura de algoritmos.
- Propiedades de funciones de medición en la UE, tales como disponibilidad de capacidades extensas de medición y el tiempo necesitado por el MT para conmutar desde un radio canal a otro para realizar una medición de una celda adyacente.
- Habilitar para usar métodos de posicionamiento y diferentes clases de estos no soportados.
- Habilitar para usar la serie 2 de caracteres universales; por ejemplo 1 estándar ISO/IEC10646 o UNIDECO.

Además de los Classmark hay también otras clases similares de información para describir completamente las propiedades específicas de la interfaz de radio de la UE. Esta información es llamada capacidad de acceso de la estación móvil.

V.5.4 SUSCRIPCIÓN DE UMTS.

Como GSM, las redes UMTS separan la parte de la suscripción de la ME. El grupo de información específica de la suscripción es llamada USIM. La USIM es también llamada "Service Identity Module" (*Modulo de Identificación del Servicio*) por que los servicios actuales siguen la información de identificación de la tarjeta SIM. La información correspondiente es originalmente almacenada en el Home Location Register (HLR) de la red del proveedor.

En GSM la SIM es un ICC (Integrate Circuit Card) (*Carta de Circuito Integrado*) que se desprende y este es el lugar donde se almacena la información del suscriptor y el



posible servicio. En UMTS el almacenaje de los datos es un UICC (Universal Integrate Circuit Card) (*Carta de Circuito Integrado Universal*) y este contiene la USIM con la información del servicio y las identidades. La USIM es accesada a través de perfiles que están dispuestas a cambiar: el usuario es capaz de cambiar el aislado de los perfiles y la red también puede cambiar de información de estos.

Una USIM puede contener varios perfiles cada uno de ellos servirán para cierto propósito.

Se puede suponer que un usuario tiene dos terminales UMTS, una de ellas es del tipo “clásico” y el otro es de terminal “multimedia”; cuando un usuario inserte el USIM dentro de cualquiera de las dos terminales la suscripción es la misma, pero la terminal muestra la información en diferente forma.

Un perfil diferente es usado para la misma suscripción dependiendo de la TE usada. Por ejemplo, a través de la “Terminal Multimedia” el suscriptor es capaz de lograr el acceso a la información (por ejemplo un archivo de imagen), la cual no esta disponible a través de la “Terminal Clásica”.

En el lado de la red estos perfiles son manejados por el Mobile Executing Environment (MExE). La clara diferencia entre GSM SIM y una USIM es que la USIM es, casi por default, capaz de descargar y su información es accesible y actualizable a través de la trayectoria de radio.

La USIM contiene básicamente 5 tipos de datos:

- **Administrativo:** Estos son datos de tipo fijos asignados por el fabricante de la USIM y operador/proveedor del servicio, tales como el valor clave para algoritmos de seguridad, el IMSI (Internacional Mobile Subscriber Identity) y la información de acceso.
- **Datos temporales de la red:** Esto es principalmente la información del manejo de la movilidad tales como el área actual de ubicación ID (Identificador), el TMSI (Temporary Mobile Subscriber Identity) y el valor clave de cifrado calculado.
- **Datos de servicios relacionados:** Este contiene información acerca de la disponibilidad o permisibilidad de los diferentes servicios y sus datos internos. Un servicio es disponible cuando la suscripción tiene la capacidad y licencia para soportar el servicio. Un servicio no disponible significa, que el servicio no será usado por el usuario de la USIM, aún si el UE tuviera la capacidad para soportar el servicio. Por ejemplo, la USIM puede contener, si el operador le permite servicios tales como un libro local de teléfonos del usuario, número móvil de suscriptor ISDN, números fijo, números del servicio de discado, números bloqueados para discado, información de llamadas salientes y entrantes, almacenaje de reportes de estado y parámetros del servicio para mensajes cortos, avisos acerca de costos, selector PLMN(Public Land Mobile Network) controlado por el usuario y el operador con tecnología de acceso, etc.
- **Aplicaciones:** La USIM puede almacenar pequeñas aplicaciones necesarias para servicios específicos. Estas aplicaciones pueden implementarse, por ejemplo como Java applets, las cuales son descargadas y almacenadas en la USIM para su ejecución más tarde dentro de la UE.



- Personal: Este cubre los datos que el usuario almacena en la SIM, por ejemplo, mensajes cortos o marcación de un número abreviado.

De esta cinco clases, las primeras tres son fijas en su tamaño y formato puesto que ellos deben presentarse exactamente de la misma forma y realizar acciones similares en cualquier TE. La cuarta clase y sus aplicaciones de alguna forma no están definidas. La quinta clase tiene en principio un formato fijo, el tamaño varía en base al operador y la suscripción; algunas tarjetas USIM son configuradas para reservar más memoria para almacenaje de mensajes cortos y marcación abreviada.

V.5.5. INTERFAZ DEL USUARIO.

La 3GPP permite manejar libremente para implementar la interfaz de usuario de la terminal UMTS. Esta medida apunta para proveer soluciones creativas y de costos efectivos para las interfaces del usuario.

La interfaz del usuario de las terminales UMTS puede o no permitir la disposición tradicional usada en las terminales GSM. La implementación de la interfaz del usuario depende completamente del fabricante de la terminal.

Los requerimientos en la disposición física de las características de entrada y salida son conservadas para permitir tipos diferentes de UE y para facilitar la introducción de desarrollos en un futuro. Sin embargo, puesto que los requerimientos en las características de la entrada física son mínimos, los procedimientos de control pueden diferir entre UE's dependiendo en la solución de los fabricantes. El común denominador entre estos requerimientos es que las mismas acciones lógicas tienen que ser tomadas por el usuario.

Esto es, el usuario tiene que proveer la misma información para el control de llamadas y señalización sin importar el método usado. Esto es también válido si un dispositivo automático es usado para llevar a cabo las mismas acciones.

Hay algunas funciones aplicables y obligatorias que la terminal debe realizar, tales como, "Accept", "Select", "Send", "Indication" y "End". Estas funciones son esenciales para manejar las llamadas originadas, terminadas y los servicios suplementarios. Estas funciones pueden ser implementadas en cualquier forma adecuada, por ejemplo el control de voz.

La función de "Accept" es usada para aceptar una llamada móvil finalizada. La función de "Select" es usada cuando la información entra. El significado físico que entran los caracteres 09,+,* y #. La función de "Send" tiene cuidado de mandar la información introducida (llamada número de subscritor, por ejemplo) a la red. La función "Indication" es usada para dar indicaciones de progreso de toda clase de llamadas. La función "End" es usada para terminar o desconectar una llamada. La función "End" puede ser activada debido a causa del nivel del sistema como, por ejemplo, pérdida de la cobertura o invalidación del pago.



V.6. DISEÑO DE UNA RED DE TELEFONÍA CELULAR DE 3G.

Diseñar una red celular es como hacer un rompecabezas sin ningunas instrucciones.

Conseguir la información requerida para un plan de la red es la parte más crucial de construir una red rentable de la calidad. Desafortunadamente, algunos de los datos necesarios son confidenciales y no solamente ése, son cualquiera conjetura en cuanto a cuál serán la mezcla y el uso móviles del servicio 3G. En un ambiente donde los operadores necesitan diseños comprensivos y los reajustes en un marco de tiempo muy corto.

Mucha de la información de varias fuentes son necesarias para el plan inicial de la red (rueda -hacia fuera). Aquí está una lista de datos requeridos:

- **PLAN DE NEGOCIO DE LOS OPERADORES.**

Esto debe definir que clase de servicio esta planeando el operador proporcionar, cómo estos servicios serán puestos en ejecución y cuánto dinero es necesario para el total rueda -hacia fuera. Esta información es a veces conocimiento público y es a veces un secreto bien guardado.

- **SECCIÓN TÉCNICA DEL PLAN DE NEGOCIO.**

Esto debe contener la cobertura, la capacidad, la calidad, las características, la mezcla del servicio y los planes deseados del producto del cliente.

- **ACUERDO DE LICENCIA DE UMTS.**

Esto contiene generalmente los planes del despliegue de la cobertura, de la capacidad y del servicio así como requisitos para emplear una cantidad predeterminada de empleados; quizás la cantidad requerida de mercancías domésticas y de servicios que necesiten ser comprados.

- **OPERADORES QUE FINANCIAN PLAN.**

Esto debe dar pautas de cómo puede progresar. Sin embargo, los operadores no desean compartir esta información. Bastantes de las redes de UMTS son vendedores financiados y tal información podría ayudar a planificadores de la red a estimar su paso hacia fuera.

- **DOCUMENTOS DEL ANÁLISIS DEL RIESGO DE LOS OPERADORES.**

Estos documentos demuestran donde estarán y demostrarán los embotellamientos de la trayectoria crítica del proyecto. La adquisición del sitio está a menudo en la trayectoria crítica, que significa que el planeamiento del RF del sitio tendrá que comprometer algunos de los sitios deseados. Sin embargo, la capacidad del interfaz del aire es técnico y normalmente la red que limita factor de la capacidad y así que la red rueda -hacia fuera el planeamiento se debe realmente salir de allí.

- **INFORMES DEL CONSULTOR.**



Durante los últimos años, los operadores han pedido que los consultores de 3G que no salgan los informes del análisis. Aunque esta información se consigue y viaja rápidamente, estos informes pudieron tener algunos hechos provechosos.

- **ESTUDIOS INTERNOS DEL OPERADOR DEL USO MÓVIL.**

La información sobre uso móvil es muy provechosa y puede establecer claramente donde están los probables los clientes de 3G así como los clientes corporativos dominantes de ésta. Igualmente, si la red será utilizada como plataforma para otras tecnologías sin hilos; los perfiles del uso y la información móviles de la distribución del cliente que requiere simular la carga de la red.

- **ESTADÍSTICA DEL GOBIERNO.**

Las fuentes del gobierno pueden proporcionar la estadística del tipo y de la información de la población tal como renta, distribución de la abundancia, impuestos, pasando los hábitos etc., que son útiles para estimar el uso móvil futuro en diversas áreas.

En una vida verdadera toda esta información se comprime en el pedido de los operadores y la cotización. Esto es típicamente para una valoración de localizaciones de la estación baja, se piensa que cada vendedor de la red la requiere para proporcionar una. El operador pide normalmente que los vendedores garanticen el nivel de la cobertura para cierto nivel de la carga, usando la cantidad mínima de estaciones bajas y de coste. Los vendedores tienen que confiar a estas figuras incluso cuando la mayoría de los sitios deben todavía ser adquiridos y alguna de la parametrización para la optimización del tratamiento será definida más adelante. Se espera que los vendedores contesten en un período de tiempo muy corto con la información limitada, así que es fácil ver porqué la calidad de la red no es la consideración más grande del planeamiento inicial. Hay una tendencia para que los operadores utilicen esta táctica para conseguir la cotización inicial posible más baja de vendedores.

Un planificador experimentado de la red puede producir una figura "rápida y sucia" del requisito de la estación baja de la red con solamente algunos parámetros. Los parámetros más cruciales para el inicial ruedan -hacia fuera son:

- Requisitos de la capacidad - los clientes y el uso previstos del servicio en cada área de la red (con el cálculo de la capacidad del sitio del BTS) deben ser notorios para conseguir la cantidad requerida de estaciones bajas para la capacidad.
- Requisitos de la cobertura - el presupuesto del acoplamiento de los altos servicios de la tarifa de datos se debe calcular para estimar la cantidad requerida de la estación baja en cada área de la red para conseguir la cantidad de estaciones bajas para la cobertura.



En cada área de la red, tome el número más grande de las estaciones bajas de la capacidad o de la cobertura para esa área, después agregue cada área junta para conseguir un total. Para conseguir el número requerido final de estaciones bajas, la fórmula siguiente puede ser utilizada:

1. Agregue el 10% de sitios de la calidad para proporcionar cobertura especial o un servidor dominante en las partes difíciles o importantes - túneles, puentes, exposición y se divierte a lugares, a centros de compras, a aeropuertos, a hoteles grandes, a edificios altos de la subida, al hogar de MD y a navegación del CEO y a club del polo.
2. Agregue el 10% adicional de sitios a los agujeros del arreglo porque no todos los sitios previstos pueden ser adquiridos.
3. Por este tiempo el equipo de las ventas le dirá que su plan sea el 30% demasiado costoso, así que usted necesite cortar el 30% de sus estaciones bajas (y el 40% de su presupuesto de la adquisición). El total le dirá cuántos sitios usted necesita para construir una red inicial 3G.

V. 6. 1. PRESUPUESTO Y COBERTURA DEL ACOPLAMIENTO.

Los cálculos del presupuesto del acoplamiento de WCDMA empiezan con la dirección del uplink (acoplamiento reverso). Interferencia de Uplink (ruido de otros móviles) es generalmente el factor limitador en sistemas del CDMA.

1. El punto de partida de un cálculo del presupuesto del acoplamiento es definir el rate(s) requerido de los datos en áreas de cada red y blancos de Eb/No (energía por pedacito al cociente de la densidad de energía de ruido). El operador predefine generalmente éstos, pero las herramientas de la simulación se pueden utilizar para adaptar el Eb/No. La simulación puede ser hecha creando una estación baja uniforme y un plan móvil de la distribución con perfiles definidos del servicio. Casi cada vendedor de UMTS tiene una herramienta de la simulación para los operadores para probar sus modelos del plan de la red.
2. El paso siguiente es recopilar datos específicos del vendedor como una energía de la salida del BTS y los sistemas de la figura del ruido del receptor, definido y usado del cable (entre más denso el cable, más costoso es instalar), la antena, uso de los sistemas inteligentes en áreas específicas, los amplificadores de línea adicionales, las diversidades usadas (como la antena, la polarización, el receptor) etc.
3. Para cada una de las áreas geográficas el operador de red tiene que definir Eb/No, servicios de los datos, un factor del cargamento de sistema, velocidades móviles estimadas, diversas pérdidas de la penetración, confiabilidad de la cobertura y uso
4. La energía móvil nivela, la tarifa de la viruta y los aumentos de proceso son definidos por los estándares de UMTS. El aumento suave del handover y la densidad termal del ruido están igual en cada sistema de UMTS. Ambas partes también tienen que convenir en modelos de la propagación después de pruebas de la impulsión.

El presupuesto del acoplamiento da una gama de la célula y de esa cobertura, el área puede ser calculada. El parámetro del traslapo de la cobertura de la célula falta generalmente del cálculo, pues aumenta la cuenta dramáticamente. La mayoría de los planificadores de la red convienen en que el traslapo debe ser 20-30 por ciento, pero ése se relaciona directamente con el costo de la estructura.



Cálculo de la cobertura de la célula usando el presupuesto de acoplamiento. Este presupuesto de acoplamiento esta basado en este ejemplo.

UMTS UL Link budget example, (c) UMTSWorld.com	
TX	
Mobile max power = 0.125W (dBm)	21
Body loss - Antenna gain (dB)	2
EIRP (dBm)	19
RX	
BTS noise density (dBm/Hz) =Thermal noise density + BTS noise figure	-168
RX noise power (dBm) =-168+10*log(3840000)	-102.2
Interference margin (dB)	3
RX interference power (dBm) =10*LOG(10^((-102.2+3)/10)-10^(-102.2/10))	-102.2
Noise & interference (dBm) =10*LOG(10^((-102.2)/10)+10^(-102.2/10))	-99.2
Process gain (dB), 144k voice =10*log(3840/144)	14.3
Required Eb/No for speech (dB)	5
Antenna gain (dBi)	19
Cable and connector losses (dB)	2
Fast fading margin (dB) =slow moving mobile	4
RX sensitivity (dBm)	-121.4
Total available path loss (dB)	140.4
Dimensioning	
Log normal fading margin (dB)	7
Indoor / In-vehicle loss (dB)	0
Softhandover gain (dB)	3
Cell edge target propagation loss (dB)	136.4
Okamura-Hata cell range (km) $L=137.4+35.2\text{LOG}(R)$	0.94
Site hexagon coverage area (km ²)	2.3
Coverage overlap for handovers (%)	20%
Required Suburban coverage area (km ²)	200
Required Suburban coverage sites	105



V. 6. 2. PLANEAMIENTO DE CAPACIDAD DE UMTS.

El número de transmisores-receptores instalados limita la capacidad teórica de la red móvil.

En los sistemas la calidad aceptada y prevista de interferencia del CDMA, y el grado del servicio determinarán la capacidad del sistema. Los sistemas de CDMA también tienen capacidad suave, que complica las valoraciones de la capacidad del área de la red. El presupuesto del acoplamiento se utiliza para calcular la pérdida de trayectoria permitida máxima y la gama máxima para la célula. El presupuesto del acoplamiento incluye el margen de interferencia, que es el nivel de ruidos creciente causado por mayor carga en una célula. Tan aumentando la carga de la célula, el área de la cobertura de la célula llega a ser más pequeña. Ése es cómo se ligan la cobertura de la célula y la dimensión de la capacidad.

El planeamiento de capacidad del sistema se divide a dos porciones:

- La primera es estimar una sola capacidad del transmisor-receptor y del sitio. Los cálculos cómo el ruido, se levanta mientras que los aumentos de la carga de la célula están fuera del alcance de ésta, solamente el ruido de la célula, requisitos de E_b/N_0 , tarifas de datos previstas, probabilidad de la cobertura, factor de actividad del uso de los recursos del aire, margen de interferencia de blanco y aumentos del proceso son necesarios para aproximar la capacidad del transmisor-receptor y del sitio. Dependiendo de los valores de parámetro; la capacidad prevista del transmisor-receptor es típicamente a partir de 400 Kbits/s a 700 Kbits/s por transmisor-receptor.
- La segunda parte del proceso es estimar a cuántos usuarios móviles puede servir cada célula. Una vez que se sepan los perfiles de la capacidad de la célula y del tráfico del suscriptor; los requisitos de la estación baja del área de la red pueden ser calculados.

Las valoraciones se pueden hacer en Erlangs por suscriptor o kilobytes por suscriptor. El vendedor de la red tiene normalmente herramientas de la simulación para probar parámetros del sistema y para verificar valoraciones ásperas. Los datos que se requieren para el dimensionamiento comprensivo de la red; número de suscriptores y de las valoraciones del crecimiento, del tráfico/del usuario/de la hora ocupada/del segmento geográfico y del rendimiento de procesamiento requerido incluyendo mezclas del servicio en segmentos geográficos por ejemplo.

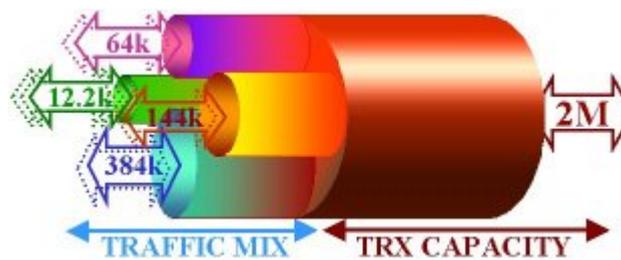


Figura V.58



Cada tipo de tráfico tiene que ser estimado para los cálculos de la capacidad. Aquí está un ejemplo del cálculo de la capacidad del downlink:

Durante una hora, un usuario medio descarga 10 Mbits con 384 Kbits/s, 2 Mbits con 144 Kbits/s y marca una llamada de voz cada 60 segundos. Los datos tienen que ser retransmitidos 1.1 veces debido a condiciones de la red. Los Kbits/s usados por usuario cada hora son:

Tarifa De Servicio	Tarifa Media
$(\text{sec } 10000 \text{ Kbits}/3600) \times 1,1$ ¹	3,06 Kbits/s
$(/3600 \text{ sec Kbits } 2000) \times 1,1$	0,61 Kbits/s
$(60\text{sec} \times 12,2 \text{ Kbits/s sec})/3600$	0,20 Kbits/s
Total	3,87 Kbits/s/usuario/hora ocupada

Si se estima una capacidad de la célula de 500 Kbits/s, cada célula se puede dimensionar para cerca de 129 usuarios.

Incluso cuando los cálculos de la capacidad se hacen al comenzar, las redes móviles se planean normalmente para resolver los objetivos de la cobertura. Las mejoras de los sitios y del transmisor-receptor de la capacidad están instaladas más adelante, una vez que se sepa la carga verdadera del tráfico. En los años noventas los requisitos de la capacidad de las nuevas redes 2G fueron sobrestimados, porque los operadores necesitaron presentar (excedente) planes de negocio optimistas para asegurar el financiamiento y porque nadie sabía cuánta gente utilizaría su teléfono en ciertos niveles de precio. La hora generalmente ocupada por suscriptores no era anticipada originalmente, y con esta tendencia es probable continuar en 3G.

¹ Sobre fórmula es justa una guía áspera. La fórmula correcta para el tráfico eficaz = tráfico del usuario/(1-p), (donde está la probabilidad p de la pérdida) en vista del hecho de que las retransmisiones pueden ocurrir más de una vez.



V.7. SERVICIOS EN EL AMBIENTE UMTS.

V.7.1. EQUIPOS DE USUARIO.

Hasta la fecha, Los equipos del usuario para acceder a los servicios móviles ha sido el teléfono móvil. Sin embargo, con el advenimiento de los servicios 3G, podemos esperar una ampliación de este concepto que incluya toda una serie de nuevos terminales, que serán dispositivos de computación y comunicaciones multiuso, así como otros dispositivos más específicos para satisfacer la demanda de segmentos concretos del mercado.

Aún habrá teléfonos móviles como tales, pero muchos de ellos dispondrán de pantallas más grandes para mostrar páginas de Internet o el rostro de la persona con la que se está hablando. Habrá "teléfonos inteligentes" más pequeños con capacidad limitada de navegación por la Red y con correo electrónico.

La adición de las funciones de comunicaciones móviles a los ordenadores portátiles y de bolsillo acelerará la convergencia entre las comunicaciones y los ordenadores, y llevará a los portátiles todas las funciones y características de que disponen los ordenadores de sobremesa más potentes.

Habrán videófonos, comunicadores de pulsera, ordenadores de bolsillo y tarjetas de radiomódem para portátiles. Las nuevas interfaces de voz permitirán a las personas controlar sus servicios de comunicaciones móviles a través de comandos de voz.

También asistiremos a la integración de los servicios 3G en una gran variedad de dispositivos y productos ajenos a los terminales de usuario. Por ejemplo, el "teléfono en tarjeta" permitirá incorporar los servicios móviles al equipamiento de las empresas, a los vehículos y a los electrodomésticos mediante aplicaciones específicas para cada uno de ellos.

Los dispositivos como teléfonos, ordenadores y cámaras digitales también podrán comunicarse entre sí mediante radio de corto alcance. Las cámaras digitales podrán utilizar comunicaciones de radio de área amplia en tiempo real y reducir la necesidad de voluminosas memorias y de otros componentes.



Figura V.59.



V.7.2. TERMINALES.

La diversidad de terminales móviles será incluso más pronunciada para la red de UMTS.

Habiéndose hecho énfasis en los servicios multimedia que esta red proporcionará, los fabricantes de terminales trabajan para asegurar que estos servicios sean lo más amigablemente posible con el usuario.

Habrà un mercado para terminales similares a los teléfonos celulares de hoy en día, los cuales serán utilizados esencialmente para comunicación vocal pero también tendrán capacidad para manejar mensajes. Uno de los principales objetivos es que los teléfonos móviles de tercera generación mantengan los mayores atractivos aportados por sus actuales predecesores, en otras palabras, portabilidad y bajo peso. Esta meta se denomina “La regla de los cuatro 100s”:

- 100 gr. de peso.
- 100 cm³ de volumen.
- 100 horas de espera.
- 100 MIPS (Mega Instrucciones Por Segundo).

Los terminales multimedia serán la novedad real de UMTS y se basarán principalmente en la integración de las tecnologías más novedosas para el color de pantalla, audio y grabación de video utilizando microcámaras de TV.

Naturalmente, habrá también terminales de transmisión de datos que estarán integrados en un PC normal a través de tarjetas PCMCIA (Personal Computer Memory Card International Association).

El mayor problema asociado a la implementación de terminales de tercera generación, consiste en garantizar el roaming, uno de los objetivos principales del sistema UMTS. Esta situación se complica por el hecho de que a nivel mundial la 3G consistirá en una familia de sistemas, cada uno de los cuales tiene sus propias especificaciones de radio. Al mismo tiempo, será necesario garantizar la compatibilidad con los sistemas de 2G.

El problema es más complicado que todo esto, por ejemplo, el desarrollo de teléfonos de doble banda. Probablemente el mercado tendrá terminales que se diferenciarán en los interfaces de radio que soportan y en su compatibilidad con los sistemas de segunda generación. Así, no todos los terminales serán capaces de soportar roaming.

Para resolver este problema, algunos fabricantes han propuesto una solución complementaria. Dadas las dificultades en conseguir la convergencia hacia un mundo estándar, ellos proponen que se armonicen lo máximo posible los distintos estándares existentes en el mundo, y que las diferencias que subsistan sean implementadas en software mejor que hacerlo directamente en hardware. A pesar de que no todos los fabricantes están de acuerdo en este punto, esto debería hacer que bajen el coste de producción y se reduzca el problema de la complejidad.

Esta solución, que se conoce como radio-software es de hecho una nueva frontera en el desarrollo de terminales móviles. En este momento diversos prototipos están listos para



implementar parte del interfaz de radio. El mayor obstáculo a salvar consiste en aquellos terminales de gran consumo. En cualquier caso la esperada convergencia de los terminales móviles con los ordenadores de mano puede hacer este problema insignificante, dado que la gestión del interfaz de radio sería llevada a cabo por el procesador del ordenador.

V.7.3. APLICACIONES.

Los servicios móviles de datos son unos de los sectores de gran crecimiento, y presumiblemente de grandes beneficios, para los proveedores y operadores de servicios, incluso asumiendo que todo el volumen de estos servicios en este momento es insignificante en comparación con los servicios de voz.

En este contexto, las oportunidades aportadas por la introducción de las redes móviles de 3G UMTS son importantes para asegurar un uso más completo de los servicios a través de un mayor ancho de banda de transmisión.

Consecuentemente, los requerimientos técnicos y de mercado para aplicaciones de datos van a imponer cambios en la forma de utilizar los recursos de radio (paquetes) y la arquitectura de la red en general.

En un mercado tan competitivo como el de radio, el operador debe ser capaz de responder con sólidas habilidades estratégicas en términos de innovación y atención al cliente.

Consecuentemente el desarrollo de aplicaciones para el entorno móvil estará más cerca de las necesidades del usuario.

Los sistemas GSM, con los nuevos contextos de aplicación son capaces desde hace poco tiempo de proveer servicios de valor añadido. Por ejemplo la Aplicación SIM (Subscriber Identity Module) la cual hace posible personalizar el SIM en las nuevas aplicaciones, WAP (Wireless Application Protocol) que es un protocolo desarrollado para acceder a los servicios de Internet a través del teléfono celular, y MexE (Mobile Execution Environment) que es un estándar de ETSI fundamentado en WAP y en el lenguaje de programación JAVA. Esto cambia la forma de ver el desarrollo y soporte de las aplicaciones de datos tanto para el mercado horizontal como para los clientes corporativos.

Los servicios WAP proveen acceso interactivo a las aplicaciones de Internet y a la información utilizando únicamente un teléfono celular GSM, de forma que los servicios de valor añadido son accesibles tanto por el consumidor individual como por el consumidor corporativo. Estos servicios, que van desde noticias de economía o deportes hasta banca electrónica y comercio electrónico (e-commerce), están basados en protocolos de Internet optimizados para teléfonos celulares limitados tanto en ancho de banda como en su capacidad de pantalla. La conexión se lleva a cabo mediante una transmisión de datos (que en el futuro serán paquetes) a la red móvil, donde el servidor WAP enlaza los protocolos de GSM móvil y aquellos que utilizan los servidores IP. Ver figura V.60.

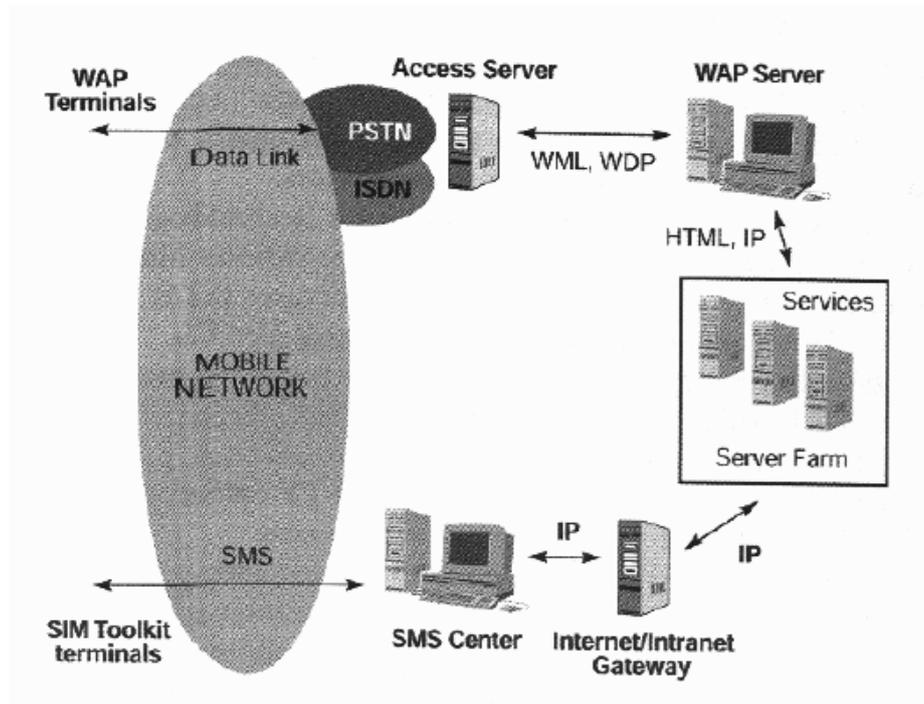


Figura V.60 Servicios de valor agregado.

Los servicios basados en la aplicación SIM se aprovechan de la creciente capacidad de procesamiento y memoria ofrecida por las tarjetas SIM (que por lo general aportan 16 kbytes, de los cuales 8 se dedican a 3 ó 4 aplicaciones disponibles por el usuario), y son una forma importante de retener al usuario, dado que el usuario puede percibir el SIM como características que el operador proporciona diferenciándose del resto. Los servicios de valor añadido como la banca en casa, comercio electrónico y las aplicaciones de localización pueden ser utilizadas a través de mecanismos de carga a distancia mediante aplicaciones de carga a través de la red GSM. La conexión tiene lugar mediante el envío y recepción de menús en mensajes cortos a la red móvil, la cual lo remite a los servidores de las aplicaciones.

A través de estos servicios, los usuarios tendrán una idea de lo que podrán esperar cuando la red GSM móvil de hoy en día evolucione hacia los servicios de banda ancha apropiados para el mundo IP. El crecimiento gradual de GPRS proveerá a los usuarios con una comunicación de tipo Internet - Intranet y con terminales específicos con teclados y pantallas necesarios para este tipo de servicios.

A consecuencia, existe la necesidad de establecer una mezcla tecnológica para introducir cada nuevo servicio, considerando las alternativas para terminales, portadores de servicios infraestructuras de soporte (SIM, WAP) y los tipos de evolución hacia UMTS.

El mayor problema asociado a la implementación de terminales UMTS consiste en garantizar el roaming.

Durante los próximos años vamos a ser testigos de cómo llega al mercado toda una serie de nuevos terminales que permitirán a los usuarios aprovechar al máximo los servicios 3G.



Serán desde complejos terminales multimedia polivalentes hasta dispositivos sencillos especializados diseñados para atender las necesidades de segmentos concretos del mercado. He aquí algunos de los nuevos avances en telefonía móvil que están empezando a marcar la pauta de los dispositivos 3G para el futuro.

V.7.4. CALIDAD DE SERVICIO EN UMTS (QoS).

El soporte de QoS en UMTS se basa en la arquitectura jerárquica definida en la especificación TS 23.107, representada en la figura V.61. La calidad de servicio extremo a extremo se sustenta en la calidad que proporcionan los servicios portadores subyacentes: el servicio portador local, el servicio portador UMTS y el servicio portador externo. Esta primera descomposición tiene como objeto no limitar innecesariamente los equipos terminales a emplear y las posibles redes destino con las que comunicarse. Es por este motivo que la especificación deja fuera del ámbito de la calidad de servicio de UMTS a los servicios portadores local y externo, centrándose exclusivamente en la normalización del servicio portador UMTS.

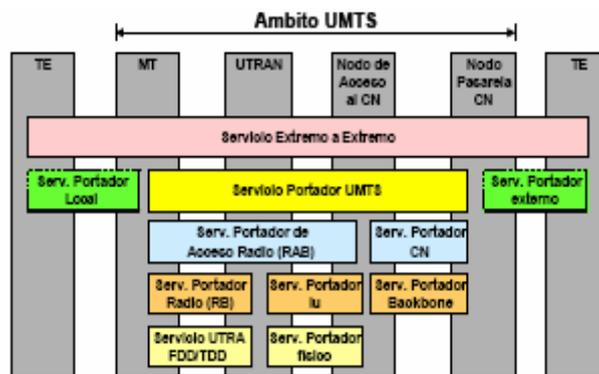


Figura V.61 Arquitectura de calidad de servicio UMTS

En una segunda descomposición, el servicio portador UMTS se sustenta en la QoS que le proporciona el servicio portador de acceso radio (RAB) y el servicio portador del núcleo de red.

El primero abarca el trayecto comprendido entre la terminación móvil (el terminal radio del usuario) y el nodo de acceso al núcleo de red (un MSC o un SGSN, según el caso), pasando a través del interfaz radio (Uu), la red de acceso radio (UTRAN), y el interfaz Iu. El concepto de RAB es determinante en la provisión de servicios UMTS con distintos perfiles de calidad de servicio, puesto que implica la utilización de recursos sobre el interfaz radio y la red de acceso, precisamente donde se presentan las mayores limitaciones de ancho de banda.

El servicio portador del núcleo de red, por su parte, abarca el trayecto comprendido entre el nodo de acceso (MSC o SGSN) hasta el nodo pasarela (GMSC o GGSN) hacia la red destino de interés. La QoS en este trayecto se apoya en la que proporciona el correspondiente backbone (de circuitos o de paquetes).

Desde el punto de vista de los requisitos de QoS, y atendiendo fundamentalmente al criterio de su tolerancia al retardo, en UMTS se han definido cuatro clases de tráfico:



- Conversacional. Dentro de esta clase se encuadran las comunicaciones de audio y vídeo en tiempo real entre personas. Este tipo de comunicaciones se caracteriza por exigir un retardo extremo a extremo muy reducido, con objeto de que los usuarios no pierdan la sensación de interactividad. Ejemplos de aplicaciones conversacionales son la telefonía, la videotelefonía o la videoconferencia.
- Streaming (afluente). En esta categoría se incluyen las aplicaciones que permiten a los usuarios la descarga de contenidos multimedia (audio y video clips) para su reproducción on-line, con una sensación que, sin serlo, se aproxima a la de tiempo real. El hecho de que la transferencia de información sea unidireccional permite retrasar el instante de inicio de la reproducción posibilitando el empleo de “buffers” relativamente grandes en el extremo receptor para absorber las fluctuaciones de retardo. Ello permite relajar significativamente los requisitos de retardo con respecto a los servicios conversacionales.
- Interactivo. Esta clase de tráfico engloba las aplicaciones de acceso remoto a información en la modalidad online, donde el usuario (ó una máquina) envía peticiones hacia el equipo remoto esperando que éste le devuelva las respuestas en un tiempo razonablemente reducido. Ejemplos de aplicaciones bajo esta categoría son la navegación web, las consultas a bases de datos o el acceso remoto a ordenadores (telnet).
- Background (diferible). Esta última clase da cabida a un número considerable de aplicaciones de datos en las que el usuario no exige una respuesta inmediata por parte de la red, admitiendo retardos que oscilan desde unos pocos segundos hasta incluso varios minutos. Ejemplo de tales aplicaciones son el correo electrónico o la descarga de ficheros, por citar algunas.

La formalización del concepto de calidad de servicio en UMTS recurre a la clásica solución consistente en la definición del correspondiente conjunto de parámetros o atributos. Así, en la especificación TS 23.107 se define una docena de atributos de calidad de servicio, así como el rango de valores que éstos pueden tomar.

La especificación TS 23.107 propone también una arquitectura donde se identifican el tipo de funciones requeridas para el soporte de QoS en una red UMTS. Se trata de un modelo genérico, que deja libertad absoluta en lo referente a los detalles de implementación. Puede decirse, en definitiva, que la arquitectura para el soporte de QoS definida por el 3GPP es incompleta, siendo muchos los aspectos que deja sin concretar. En los siguientes apartados se abordan algunas alternativas para la solución de dichos aspectos.



V.7.5. VENTAJAS DE UMTS.

Las ventajas de UMTS pueden dividirse en dos categorías: beneficios para el usuario y beneficios para el operador.

Los beneficios clave para el usuario incluyen:

- **Velocidad:** UMTS soporta velocidades pico de 2 Mbps cuando el usuario se encuentra en un lugar fijo y 384 Kbps cuando se encuentra en movimiento. La velocidad promedio es de 220 a 320 Kbps, que es lo suficientemente rápido como para soportar una amplia gama de servicios de datos avanzados, incluidos el streaming de audio y video de alta calidad, acceso rápido a Internet y descarga de grandes archivos. Por ejemplo, en GPRS un video clip MMS de 100 KB tarda 26,7 segundos en bajar, mientras que en una red UMTS con velocidad promedio de 128 Kbps tarda sólo 6,8 segundos.
- **Una conexión "siempre activa":** Al igual que la banda ancha por cable y el DSL, UMTS ofrece una conexión permanente a Internet, de modo que los usuarios no tienen que conectarse cada vez que necesitan el acceso, y pueden recibir servicios de notificaciones, como alertas con los valores del mercado accionario.
- **Valor:** UMTS es una tecnología basada en paquetes, lo que constituye una forma más eficiente de provisión de servicio por parte de los operadores. Esos ahorros pueden ser trasladados a los usuarios en forma de tarifas más bajas. El hecho de que se trate de tecnología en paquetes también significa que los usuarios sólo pagan por los datos que envían y reciben en lugar de pagar también por el tiempo de aire utilizado para establecer una conexión y esperar a que responda el servidor.
- **Compatibilidad:** UMTS es compatible con EDGE y GPRS, lo que permite que los usuarios salgan de un área con cobertura UMTS y sean conmutados automáticamente a una red EDGE o GPRS, dependiendo de factores tales como disponibilidad de la red y cantidad de ancho de banda requerida para la aplicación de que se trate. De este modo, los usuarios de UMTS siempre tienen asegurado algún nivel de servicio de datos en paquetes ya sea que estén en su área original o de viaje. Más de 119 operadores de Europa, del continente americano y de otras regiones han construido, o se han comprometido a construir, redes UMTS, lo que asegura un rápido crecimiento de la cobertura UMTS en el continente americano y en otras regiones. A agosto de 2004, hay 46 redes UMTS en servicio alrededor del mundo.
- **Calidad de servicio (QoS):** UMTS incluye sofisticados mecanismos de calidad de servicio (QoS), con lo cual se asegura que cada tipo de servicio de datos recibe exactamente la cantidad de espectro y recursos de infraestructura que necesita. Por ejemplo, a un servicio de streaming de video se le asignaría suficiente ancho de banda para que la imagen sea estable y de calidad.
- **Roaming:** UMTS es la tecnología 3G líder en todo el mundo, y se encuentra desplegada sobre redes licenciadas en 42 países (a agosto de 2004), lo que da soporte a la oportunidad de roaming global con compatibilidad regresiva a GPRS y/o EDGE.



Los beneficios clave para el operador incluyen:

- **Facilidad de actualización:** UMTS reutiliza las inversiones previas más importantes, en particular la infraestructura de la red de datos en paquetes desplegada para GPRS. Según el fabricante de que se trate, la actualización puede ser tan sencilla como agregar software UMTS y tarjetas de canales a la infraestructura de radio GSM/GPRS/EDGE existente, que continúa atendiendo a los clientes utilizando esas tecnologías. Esta arquitectura modular reduce el costo de la actualización a UMTS, permitiendo de este modo que los operadores establezcan precios para sus servicios 3G mucho más competitivos de lo que serían si la actualización requiriera el reemplazo de importantes elementos de la infraestructura.
- **Eficiencia en el uso del espectro y flexibilidad:** UMTS funciona en varias bandas del espectro nuevas y existentes, incluida la de 1900 MHz. Tal flexibilidad es especialmente importante para los operadores del continente americano, donde, a diferencia de Europa, las autoridades regulatorias de la mayoría de los países no requieren nuevas licencias para las bandas de espectro destinadas únicamente a 3G. UMTS también hace un uso altamente eficiente del espectro debido a la combinación de las tecnologías CDMA (Acceso Múltiple por División de Código) y TDMA (Acceso Múltiple por División del Tiempo). Por ejemplo, un único canal de radio de 5 MHz puede manejar más de 100 llamadas de voz WCDMA simultáneas y una cantidad aún mayor de sesiones simultáneas de datos. Un análisis conjunto realizado por los miembros de 3G Americas, publicado por Rysavy Research en noviembre de 2002, halló que, en comparación con otras tecnologías de la próxima generación, UMTS presenta la mayor eficiencia espectral para las velocidades de datos superiores a los 100 Kbps. 3G Americas además publicó un informe de análisis centrado en la fase evolutiva de UMTS, 3GPP Release 5.
- **Compatibilidad:** UMTS es compatible con EDGE y GPRS, lo que permite que los usuarios salgan de un área con cobertura UMTS y sean conmutados automáticamente a una red EDGE o GPRS, dependiendo de factores tales como disponibilidad de la red y cantidad de ancho de banda requerida para la aplicación de que se trate. Este diseño les otorga a los operadores la flexibilidad de lanzar UMTS en ciertas partes de su área de cobertura, como las grandes ciudades, antes de extenderse hacia otras áreas. Un operador también puede elegir tener desplegados GSM, GPRS, EDGE y UMTS en el mismo mercado. Este enfoque no constituye un derroche en redundancia, sino que le permite al operador rutear cada tipo de tráfico hacia la red que esté mejor equipada para manejarlo. Por ejemplo, mensajes de texto que requieren poco ancho de banda podrían enviarse por la red GPRS, liberando así a la red WCDMA para los servicios que requieren gran ancho de banda, como el streaming de video.



- Volúmenes: Más de 119 operadores de todos los continentes están desarrollando, o se han comprometido a desarrollar, redes UMTS. A agosto de 2004, hay 46 redes UMTS en servicio alrededor del mundo, que atienden a casi seis millones de clientes globalmente. Ya existen servicios WCDMA comerciales en Japón, países de toda Europa y, recientemente, se sumaron seis ciudades de los EUA (Detroit, Phoenix, San Francisco, Seattle, Dallas y San Diego). Cingular Wireless anunció una red piloto en Atlanta, y tiene planes de lanzar UMTS en las bandas de 850 y 1900 MHz. Se prevé que la familia de tecnologías GSM representará hasta el 85% de la población celular mundial, según el UMTS Forum. Este tamaño de mercado se traduce en altos volúmenes de infraestructura y dispositivos UMTS para el usuario y una regla en los negocios es que a mayores volúmenes, menores costos. En el caso de UMTS, el resultado es una infraestructura de costos accesibles para los operadores y dispositivos para los usuarios con gran variedad de niveles de precio.
- Control de calidad: UMTS incluye avanzados mecanismos de calidad de servicio que les dan a los operadores un mayor control y que permiten asegurar que cada aplicación o usuario reciba la cantidad de ancho de banda que necesita. La calidad de servicio es un aspecto clave para un servicio que apunta a los usuarios de empresas; contribuye a la retención de clientes y reduce la necesidad de bajar las tarifas para atraer clientes que reemplacen a aquellos que cambiaron de operador. Los mecanismos de calidad de servicio de UMTS cubren todos los pasos del viaje de una aplicación de datos, desde el dispositivo, a la celda, a través de la red y en el gateway de entrada a Internet. Ninguna otra tecnología inalámbrica brinda semejante nivel de calidad de servicio.

Diseño con miras al futuro: Los mecanismos de calidad de servicio de UMTS también pueden soportar Voz sobre Protocolo de Internet (VoIP), la etapa final de la visión de UMTS, donde la voz y los datos viajan sobre la misma infraestructura de paquetes. Dicho diseño reduce la necesidad y los costos de contar con una infraestructura separada para la voz por conmutación de circuitos. Mediante el uso del protocolo de inicio de sesión (SIP), que controla el flujo del tráfico, UMTS asegura que la voz no sufra demoras y brinda, de este modo, una experiencia de calidad telefónica.



CONCLUSIONES

En el presente trabajo se cumplió satisfactoriamente con el objetivo principal el cual era explicar el funcionamiento de la telefonía celular de tercera generación, así como la tecnología en que se basa (UMTS) ya que en un futuro será la base de las comunicaciones en todo el mundo.

Es por eso que mostramos una explicación paso a paso del funcionamiento del sistema de telefonía móvil de tercera generación para que cualquier persona al leer el texto tenga una idea clara de cómo se transmiten la voz, datos y video cuando se comunica con su teléfono celular con otra persona.

Fueron señalados los conceptos elementales y principales para poder entender y comprender de una forma adecuada todos los términos que se manejaron en todos los capítulos del trabajo presentado.

Mencionamos una reseña histórica a cerca de la telefonía celular tanto a nivel mundial como en nuestro país, donde desgraciadamente estamos muy atrasados en tecnología con respecta a EUA, Europa y Asia.

Una vez obtenidos los conocimientos previos nos adentramos a la tecnología de estudio (UMTS) aunque surgió en el año 2000 en Japón, y que llegará a nuestro país en pocos años.

Por todo lo anterior es indispensable que un ingeniero tenga los conocimientos del funcionamiento de la telefonía de tercera generación, por lo que dimos una explicación muy detallada del tema ya que es muy extenso e importante.

El tema de telefonía celular es muy interesante ya que día a día sufre mejoras en cualquier aspecto, como equipos, antenas, velocidad de transmisión, etc.

Otra cosa importante de la telefonía celular es que es una de las pocas tecnologías que esta al alcance de casi cualquier persona ya que es un servicio relativamente no muy caro ya que entre más infraestructura se tenga los costos de operación serán más baratos.



APÉNDICE A

NORMAS.

Q.1701, MARCO PARA LAS REDES IMT-2000.

Esta recomendación precisó la familia del concepto de los sistemas que proporciona la base para el desarrollo de los estándares IMT-2000 incluyendo el sistema de señalar los requisitos para IMT -2000. También contiene una descripción de los interfaces en el sistema que puede necesitar ser estandarizado por el ITU. Se ha convenido que el desarrollo de los requisitos IMT -2000 será realizado en sistemas de la capacidad y este documento precisó el contenido del sistema 1 de la capacidad y la visión para la capacidad subsecuentemente fija.

Estado de Q.1701			
Versión	Aprobado	Referencia	Source/Notes
Nuevo	Marcha de 1999	Circ 150/183	COM 11-R115

Q.1702, VISIÓN A LARGO PLAZO DE LOS ASPECTOS DE LA RED PARA LOS SISTEMAS MÁS ALLÁ DE IMT 2000.

Esta recomendación trata el ambiente de la red, los objetivos de diseño de red, y los conceptos considerados de la arquitectura de sistemas más allá de IMT -2000. Esta recomendación, junto con una recomendación del compañero de Itu-r que cubra los aspectos de radio, forma la visión a largo plazo de ITU para los sistemas más allá de IMT -2000.

Estado de Q.1702			
Versión	Aprobado	Referencia	Source/Notes
Nuevo	Junio de de 2002	Circ AAP 32/35	SSG

MARCO DE LAS CAPACIDADES DE Q.1703, DEL SERVICIO Y DE LA RED PARA LOS ASPECTOS DE LA RED PARA LOS SISTEMAS MÁS ALLÁ DE IMT-2000.

Esta recomendación define el marco de las capacidades del servicio y de la red, del aspecto de la red, para los sistemas más allá de Imt-2000 alrededor del año 2010, según lo especificado por Itu-r M.1645 e Itu-t Q.1702. Se espera que los varios servicios avanzados se puedan ofrecer vía la combinación de los aspectos de radio de la red de las capacidades del servicio que se describen adjunto. Sin embargo, debido a las posibilidades numerosas de tales servicios avanzados, solamente el marco para apoyar éstos se incluye en esta recomendación. Esta recomendación sigue la visión descrita en Itu-r M.1645 e Itu-t Q.1702.



Estado de Q.1703

Versión	Aprobado	Referencia	Source/Notes
Nuevo	(mayo de 2004)	Circ AAP 76	SSG

Q.1711, MODELO FUNCIONAL PARA LAS REDES IMT-2000.

La recomendación identifica las funciones de la red y del terminal para la ayuda de los servicios IMT -2000. Entonces describe requisitos globales de la interconexión de la red como la base para el desarrollo de los flujos de información y señalar requisitos.

Estado de Q.1711

Versión	Aprobado	Referencia	Source/Notes
Nuevo	Marcha de 1999	Circ 150/183	COM 11-R116

Q.1721, FLUJOS DE INFORMACIÓN PARA LA CAPACIDAD IMT-2000 FIJÓ 1.

Esta recomendación especifica los procedimientos del flujo de información de la etapa 2 para la ayuda de la inter-familia end-to-end y la capacidad inter-system Imt-2000 fijó 1 servicios (Cs-1) y capacidad de la red. Las áreas cubiertas son gerencia de la movilidad, control de la llamada y del portador, control de los servicios, y servicios de la autorización del sobre-\$\$\$-aire.

Estado de Q.1721

Versión	Aprobado	Referencia	Source/Notes
Nuevo	Junio de de 2000	Circ 260/277	COM 11-R232

Q.1731, REQUISITOS INDEPENDIENTES DE LA RADIO-TECNOLÓGICA PARA IMT-2000 ACODAN EL INTERFAZ DE RADIO 2.

Esta recomendación define los requisitos para los servicios, las funciones, y los primitivos comunes para las piezas independientes de la tecnología de radio de la capa 2 del interfaz de radio IMT -2000, para asegurar concordancia máxima entre los miembros de la familia IMT -2000.

Estado de Q.1731

Versión	Aprobado	Referencia	Source/Notes
Nuevo	Junio de de 2000	Circ 260/277	COM 11-R233



Q.1741, REFERENCIAS IMT-2000 AL GSM DESARROLLÓ LA RED DE LA BASE DE UMTS CON LA RED DE ACCESO DE UTRAN.

Esta recomendación identifica referencias al miembro de la familia IMT -2000, "red desarrollada G/M de la base de UMTS con la red de acceso de UTRAN" para los varios lanzamientos.

Q.1741.1, REFERENCIAS IMT-2000 PARA LANZAR 1999 DEL GSM DESARROLLÓ LA RED DE LA BASE DE UMTS CON LA RED DE ACCESO DE UTRAN.

Estado de Q.1741.1			
Versión	Aprobado	Referencia	Source/Notes
Nuevo	Abril de 2002	Circ A28/A30	SSG

Q.1741.2, REFERENCIAS IMT-2000 PARA LANZAR 4 DEL GSM DESARROLLÓ LA RED DE LA BASE DE UMTS CON LA RED DE ACCESO DE UTRAN.

Estado de Q.1741.2			
Versión	Aprobado	Referencia	Source/Notes
Nuevo	DEC 2002	Circ A44/A46	SSG

Q.1741.3, REFERENCIAS IMT-2000 PARA LANZAR 5 DEL GSM DESARROLLÓ LA RED DE LA BASE DE UMTS CON LA RED DE ACCESO DE UTRAN.

Estado de Q.1741.2			
Versión	Aprobado	Referencia	Source/Notes
Nuevo	Sept 2003	Circ A60/62	SSG



APÉNDICE B

GLOSARIO.

Lenguaje de 3G: Al igual que cualquier otra área especializada de la tecnología, la industria de las comunicaciones móviles ha dado paso a toda una serie de términos y acrónimos. Otros nuevos están apareciendo casi a diario. A lo largo de este trabajo hemos tratado de reducir al mínimo posible el uso de la jerga especializada, pero en ocasiones ha sido inevitable. Por ello, he aquí algunos de los términos que encontrará más fácilmente con relación a los avances móviles de la tercera generación.

3GPP: Third Generation Partnership Project (Proyecto de Alianza para la Tercera Generación), creado para facilitar el desarrollo de especificaciones técnicas abiertas internacionalmente aceptadas para los servicios 3G.

Servicios de 3G: Abreviatura de servicios de "tercera generación", aplicados generalmente a los servicios móviles de banda ancha.

Interfaz de área: Interfaz de radio entre un equipo móvil de comunicaciones y la estación base.

AMPS: Advanced Mobile Phone System (Sistema de Telefonía Móvil Avanzada). Estándar móvil analógico ampliamente utilizado en toda América, así como en la costa asiática del Pacífico y Este de Europa. Opera en la banda de frecuencias de 800 MHz.

ANSI: American National Standards Institute (Instituto Nacional Americano de Estándares), organismo de normalización de Norteamérica.

ANSI-136: Estándar móvil digital norteamericano antes conocido como Interim Standard IS-136, utilizado en los sistemas TDMA (antes denominados D-AMPS).

ARIB: Association of Radio Industry Businesses (Asociación de Empresas del Sector de Radio), órgano de normalización japonés.

Comunicaciones Asimétricas: Comunicaciones bidireccionales en las que los volúmenes de tráfico en ambas direcciones son significativamente distintas, como sucede con la televisión a la carta.

Ancho de Banda: La capacidad de información de un recurso de comunicaciones, que suele medirse en bits por segundo.

Bluetooth: Iniciativa internacional entre Ericsson, IBM, Intel, Nokia y Toshiba para establecer un estándar de conectividad sin cable entre los teléfonos móviles, los ordenadores portátiles, los ordenadores de mano y otros periféricos. Utilizará enlaces de radio de corto alcance en la "banda libre" de Instrumentación Científica y Médica (ISM) de 2,45 GHz.



Banda Ancha (Broadband): Clasificación de la capacidad de información o ancho de banda de un canal de comunicación. Suele indicar anchos de banda superiores a 2 Mbit/s.

CDMA: Code Division Multiple Access (Acceso Múltiple por División de Códigos). Técnica de acceso múltiple empleada por las interfaces de aire CDMAOne, CDMA2000 y WCDMA.

CDMA One (IS-95): Tecnología de interfaz digital de aire de banda estrecha desarrollada por la empresa estadounidense Qualcomm.

CDMA 2000: Propuesta de la comunidad CDMA para un sistema estándar en los servicios 3G.

Célula o celda: Unidad geográfica básica de un sistema de comunicación celular. La cobertura del servicio de un área determinada se basa en una red de células entrelazadas, cada una de las cuales tiene en el centro una estación base de radio (transmisor/receptor). El tamaño de cada célula depende del terreno y del número de usuarios.

Conmutación de circuitos: La base de la gestión de las llamadas telefónicas, en la que se establece una conexión de circuito entre la persona que llama y la que recibe la llamada. Esta conexión se mantiene abierta durante toda la llamada, aun cuando no se esté transmitiendo ninguna información (voz, datos, imágenes o vídeo). Su alternativa es la conmutación de paquetes.

Convergencia: En el contexto de las comunicaciones móviles, "convergencia" significa muchas cosas. Existe convergencia entre diversos sectores, como el de telecomunicaciones, el de información, el de medios de comunicación y el de ocio; también está la convergencia de tecnologías, por ejemplo, entre las comunicaciones fijas y móviles o entre las telecomunicaciones y la informática; asimismo, existe convergencia entre los propios estándares de comunicaciones móviles.

Red Central: Infraestructura de red física a la que se conecta la red de acceso por radio en las redes móviles.

EDGE: Enhanced Data rates for Global Evolution (Tasa de Datos Mejorada para la Evolución Mundial), técnica mejorada de modulación de radio para GSM y TDMA (ANSI-136) que amplía los intervalos de tiempo (times slot) de radio hasta 48 kbit/s. Cuando se combina con GPRS, proporciona un ancho de banda máximo de 384 kbit/s por abonado.

E-GPRS: GPRS mejorado; otra forma de denominar a EDGE.

EPOC: Sistema operativo para terminales móviles multimedia que está desarrollando Symbian.

ETSI: European Telecommunications Standards Institute (Instituto Europeo de Estándares de Telecomunicaciones). Su finalidad consiste en establecer estándares que permitan al mercado internacional de las telecomunicaciones funcionar como uno sólo.



Red Fija Inalámbrica: Esta aparente contradicción terminológica hace referencia a una red celular creada para prestar servicio a abonados fijos en vez de móviles. Cada vez más utilizadas por su rapidez y economía a la hora de ofrecer nuevos servicios telefónicos, ya que evita tener que instalar grandes cableados.

FPLMTS: Future Public Land Mobile Telecommunications Systems (Futuro Sistema de Telecomunicaciones Móviles Terrestres). Término inicial para lo que ahora se denomina IMT-2000.

GoS: El objetivo de la ingeniería de tráfico en los sistemas móviles es determinar el número de canales necesarios por zona de cobertura para satisfacer las necesidades de tráfico y señalización. La determinación del número de canales debe satisfacer determinada calidad de servicio denominado Grado de Servicio y que se conoce por sus siglas en inglés GoS (Grade of Service). El GoS puede ser definido de diferentes maneras, en función de las características del funcionamiento del sistema. Por ejemplo, en el caso de los sistemas celulares el GoS queda definido por la probabilidad de que un intento de llamada no resulte exitosa producto de que el sistema está congestionado. Esta probabilidad se denomina probabilidad de bloqueo Pb.

GPRS: General Packet Radio Service (Servicio General de Radio por Paquetes). Mejora de la red central de GSM que introduce la transmisión de paquetes de datos. Utiliza muy eficazmente el espectro de radio disponible y los usuarios reciben un acceso con un ancho de banda mayor que con una conexión estándar. También se puede aplicar a las redes TDMA (ANSI-136).

GSM: Global System for Mobile Communications (Sistema Internacional para Comunicaciones Móviles). Definido inicialmente como un estándar paneuropeo para una red telefónica celular digital que soportara la itinerancia entre países, GSM es ahora el principal estándar móvil digital del mundo. Emplea una interfaz de aire TDMA. Actualmente está implantado en las bandas de frecuencias de 900 MHz, 1.800 MHz o 1.900 MHz.

IMT-2000: International Mobile Communications 2000 (Sistema de Comunicaciones Móviles Internacionales 2000). La iniciativa de la UIT para un servicio que proporcione acceso de radio a la infraestructura de telecomunicaciones de todo el mundo a través de sistemas terrestres y por satélite, atendiendo a las necesidades de usuarios fijos y móviles en redes públicas y privadas. En otras palabras, servicios de tercera generación.

Red Inteligente (RI): Capacidad del entorno de red de telecomunicaciones públicas que permite desarrollar e introducir rápidamente servicios nuevos, como numeración personal, servicios restrictivos y de desvío de llamadas, zonificación e itinerancia inteligente, todo ello a cualquier escala, desde un ensayo local hasta en toda la red. También requiere una infraestructura de red adecuada.

Internet: Nombre dado al conjunto internacional de redes y pasarelas que utilizan el protocolo TCP/IP y que funciona como una sola red virtual.

IP: Internet Protocol.



RDSI: Red Digital de Servicios Integrados. Red pública de telecomunicaciones digitales en la que se pueden ofrecer múltiples servicios (voz, datos, imágenes y vídeo) mediante interfaces de terminal estándar.

UIT: Unión Internacional de Telecomunicaciones. Órgano de las Naciones Unidas responsable de la coordinación de las actividades internacionales relacionadas con las telecomunicaciones, especialmente en las áreas de definición de estándares, asignación del espectro de radio y legislación.

Método de Okumura-Hata: Cuando se va a implementar un sistema móvil, reviste una especial importancia el pronóstico de la pérdida del trayecto. Como es conocido en los sistemas móviles celulares prevalece el efecto multitrayecto por lo que no se puede implementar el modelo de propagación de espacio libre. Producto de esto y debido a que no existen modelos teóricos que puedan contener la variabilidad del perfil del terreno, se utilizan modelos empíricos. Estos modelos se basan en fórmulas que se han ajustado a mediciones realizadas durante años y en diversos escenarios de propagación. Entre los modelos más utilizados para el cálculo de la pérdida de trayecto (L_b) está el de Okumura-Hata y el COST 231 (Walfish-Ikegami). El valor de L_b determina el radio de cobertura de una celda.

Multimedia: En el contexto de las comunicaciones móviles, servicio que puede combinar información de voz, datos, gráficos y vídeo.

Banda Estrecha: Clasificación de la capacidad de información o ancho de banda de un canal de comunicación. Suele emplearse para indicar anchos de 64 kbit/s o inferiores.

Conmutación de Paquetes: Técnica de transmisión de red central con la que se divide la información en "paquetes" de datos que se encaminan de forma independiente a través de la red a lo largo de distintas rutas hasta su destino final. Resulta atractiva para el acceso móvil porque el espectro de radio sólo se utiliza cuando realmente se están transmitiendo datos. Su alternativa es la conmutación de circuitos. GPRS es una tecnología basada en paquetes diseñada para redes móviles digitales.

PCS: Personal Communications Service (Servicio de Comunicaciones Personales). Término genérico para referirse al servicio de comunicaciones personales móviles del mercado masivo, independiente de la tecnología empleada para prestarlo.

PDC: Personal Digital Cellular (Celular Digital Personal). Estándar móvil digital empleado en Japón. Utiliza una interfaz de aire TDMA.

RTC: Red Telefónica Conmutada pública. Red telefónica ordinaria con cable.

RACE: Iniciativa europea de I+D que comenzó en la década de 1980. Fue el punto de partida de algunos de los avances de radio que se están empleando en la actualidad en los sistemas móviles para los servicios de la tercera generación.

Red de acceso por radio: Parte de una red móvil que se encarga del acceso de los abonados, incluyendo las estaciones de base de radio y el control de los nodos de concentración.



Célula por radio: El área a la que sirve una estación base de radio en un sistema de comunicaciones celulares o inalámbricas. De aquí procede el término "celular". El tamaño de las células oscila entre unas pocas decenas de metros y varios kilómetros.

Comunicación en tiempo real: Servicio de comunicaciones (generalmente bidireccional) en el que el destinatario recibe instantáneamente la información enviada en un flujo continuo. Las llamadas telefónicas y las videoconferencias se producen en tiempo real; el correo electrónico y el acceso a bases de datos, no.

Itinerancia: Posibilidad de que un usuario de teléfono móvil o inalámbrico viaje de red en red, con absoluta continuidad de comunicaciones.

RLL/WLL: Radio in the Local Loop/Wireless Local Loop (Radio en Bucle de Abonado/Bucle Local Inalámbrico). Uso de la tecnología de acceso por radio para enlazar a abonados en la red pública fija de telecomunicaciones. El enlace de radio sustituye al tradicional bucle local cableado, aunque el usuario posea lo que aparentemente es una conexión fija ordinaria.

TRR: Tecnología de Transmisión por Radio.

Symbian: Unión temporal de empresas compuesta inicialmente por Ericsson, Nokia y Psion para desarrollar un sistema operativo común a todo el sector para los terminales multimedia móviles (EPOC).

Comunicaciones simétricas: Comunicaciones bidireccionales en las que en ambas direcciones fluyen volúmenes iguales de información. Una llamada de videoconferencia sería simétrica, el vídeo a la carta, no.

TCP/IP: Protocolo de datos que se usa en Internet.

TDMA: Time Division Multiple Access (Acceso Múltiple por División de Tiempo). Técnica empleada por las actuales interfaces de aire GSM, TDMA (ANSI-136) y PDC.

TDMA (ANSI-136): "TDMA" se ha adoptado como el nuevo nombre del estándar móvil "Digital AMPS" (D-AMPS), actualmente denominado ANSI-136, que se utiliza en el continente americano, la costa asiática del Pacífico y otras áreas. Los servicios TDMA se pueden prestar en las bandas de frecuencia de 800 MHz y 1.900 MHz.

TIA: Telecommunications Industry Association (Asociación del Sector de Telecomunicaciones). Órgano estadounidense para la normalización de las telecomunicaciones.

UMTS: Universal Mobile Telecommunications System (Sistema Universal de Telecomunicaciones Móviles). Sistema para prestar servicios de tercera generación desarrollado bajo los auspicios del ETSI.

UTRA: UMTS Terrestrial Radio Access (Acceso por Radio Terrestre UMTS). Denominación del ETSI para el WCDMA.

UWC: Consorcio Universal Wireless Radio Access (Acceso Universal Inalámbrico por Radio). Agrupación sectorial que representa los intereses de los distribuidores, los operadores y los usuarios de las redes móviles AMPS y TDMA (ANSI-136).



WAP: Wireless Access Protocol (Protocolo de Acceso Inalámbrico). Estándar internacional abierto para el acceso a servicios en línea desde teléfonos móviles de pantalla reducida.

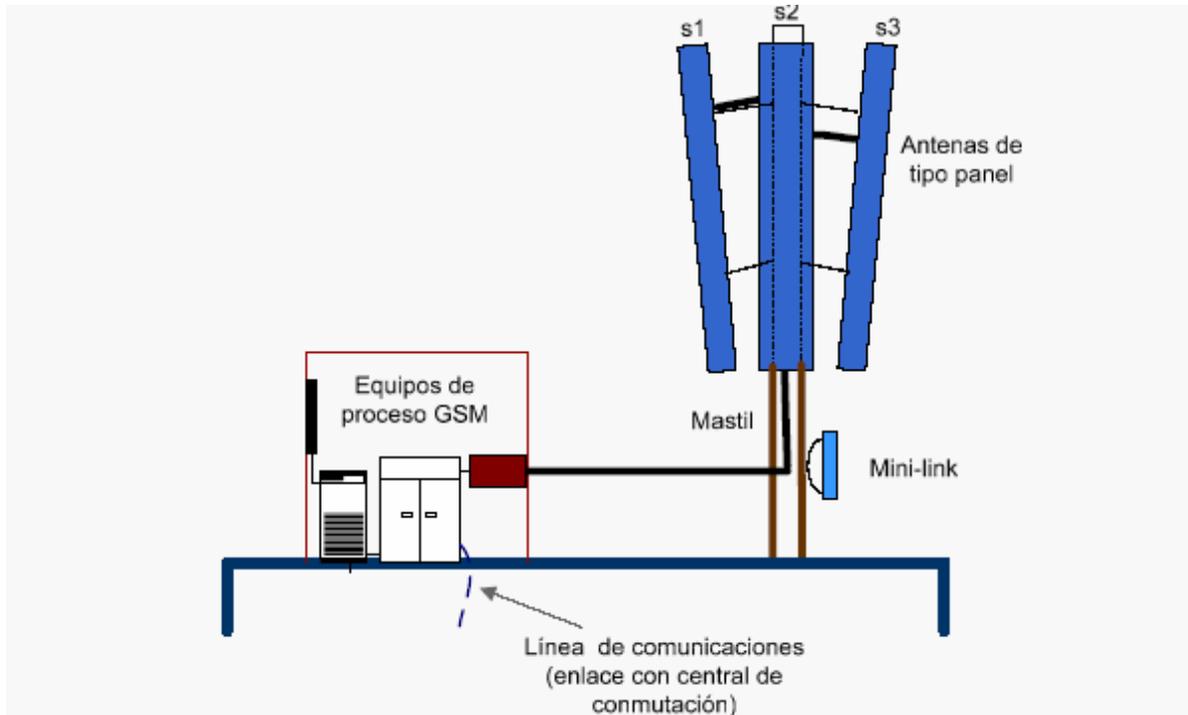
Banda Ancha (Wideband): Clasificación de la capacidad de información o ancho de banda de un canal de comunicación. Suele emplearse para anchos de banda entre 64 kbit/s y 2 Mbit/s.

Banda ancha CDMA (WCDMA): Tecnología de interfaz de radio seleccionada por los principales operadores de comunicaciones móviles de Japón y --desde enero de 1998-- por el ETSI, para el acceso de banda ancha por radio con el fin de prestar servicios de tercera generación. Esta tecnología ha sido perfeccionada para admitir servicios multimedia de muy alta velocidad, como vídeo de animación, acceso a Internet y videoconferencias.

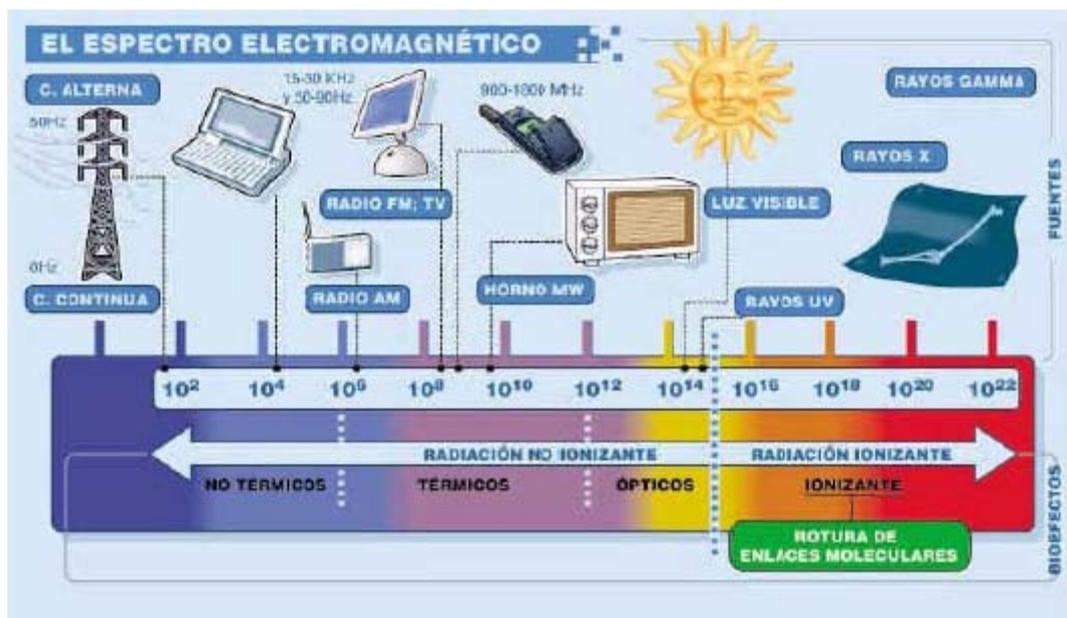


APÉNDICE C

COMPONENTES BÁSICOS DE UNA ESTACIÓN DE TELEFONÍA MÓVIL.

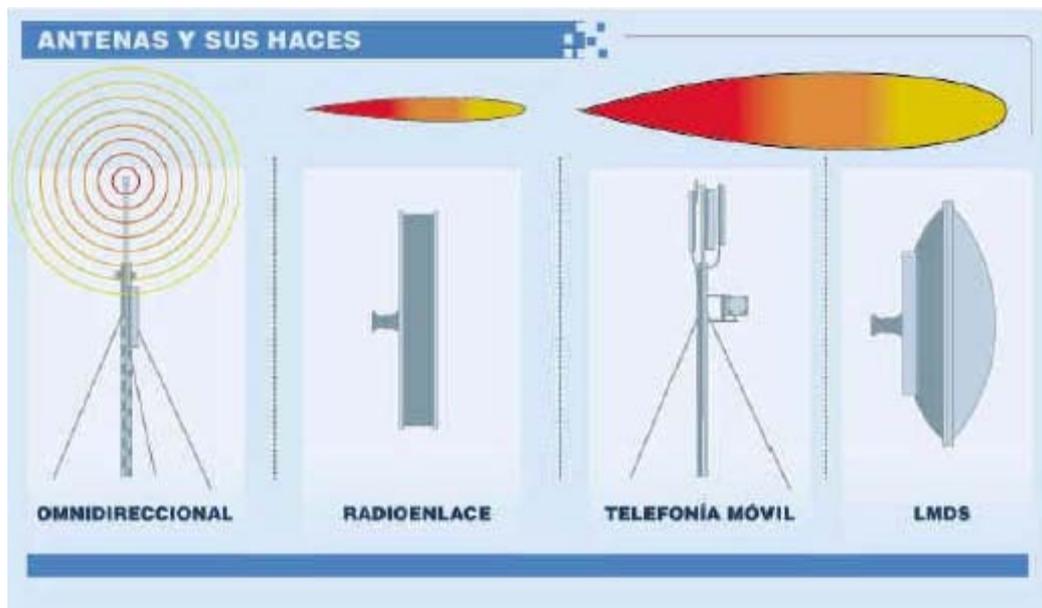


ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO.

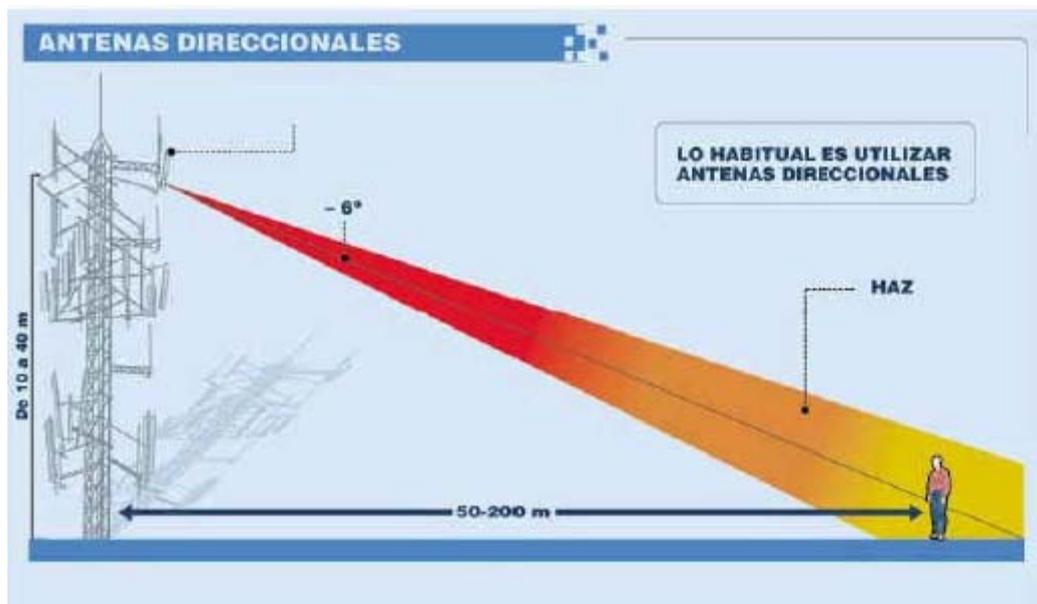




ANTENAS Y SUS HACES.

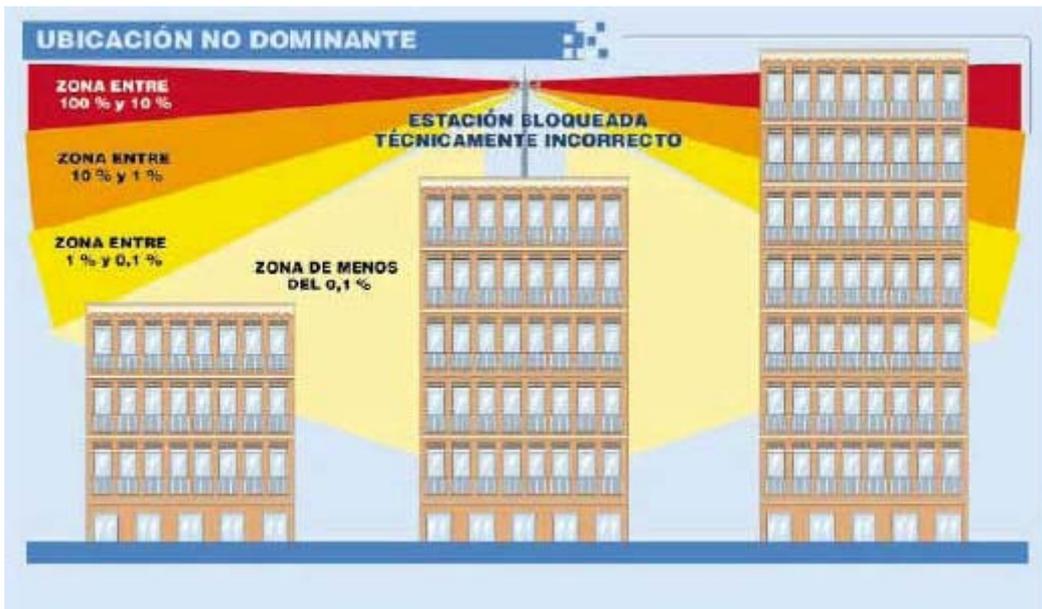
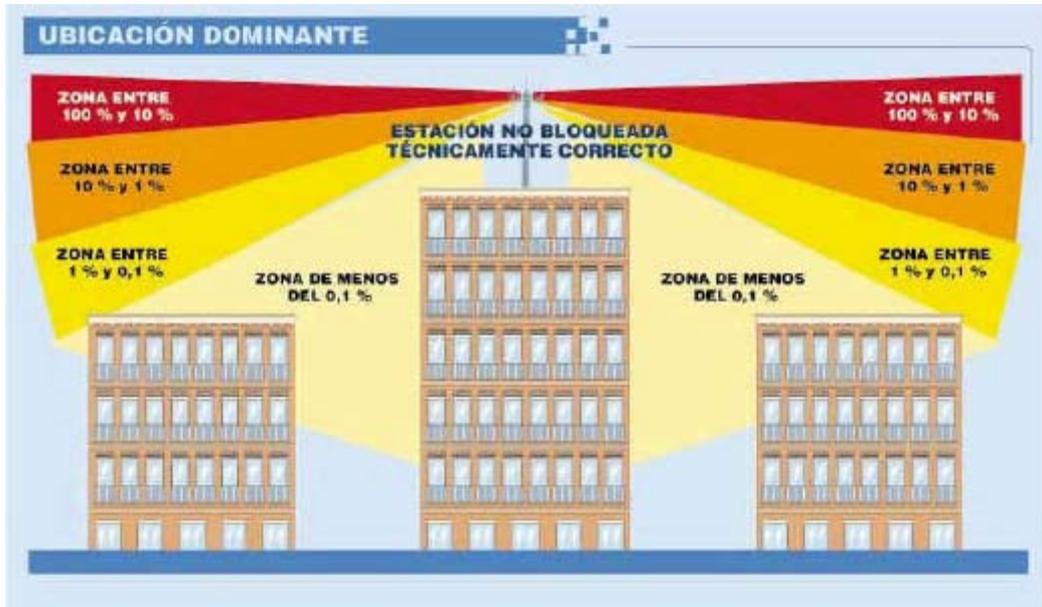


ANTENAS DIRECCIONALES.





TOPOLOGÍAS DE LAS UBICACIONES EN ZONA URBANA.





SERVICIO GSM-900.



REFERENCIAS

A. GAMST. Some lower bounds for a class of frequency assignment problems. IEEE Trans. Veh. Techn. VT-35, 1986.

B. CARLSON. Sistemas de Comunicación. Mc Graw Hill, México.

BERNHARD H. Wake. Mobile Radio Networks. Ed. Wiley.

ULKARNI. Network Issues for Wireless Communications. IEEE Comm. Magazine, 1995.

D. WETHERALL, U. LEGEDZA AND J. GUTTAG. Introducing new Internet services. IEEE Network Magazine, 1998.

FLAVIO MURATORE. UMTS Mobile Communications for the Future. Wiley, 2001.

HEIKKI KAARANEN, AHTIAINEN. UMTS Networks. Architecture, Mobility and Services” Edit. Other Wiley.

HERNANDO ROBAÑOS, JOSÉ MARIA LLUCH MESQUIDA. Comunicaciones Moviles de Tercera Generación. Edit. Telefónica de España. 2000.

HERRERA PÉREZ, ENRIQUE. Comunicaciones I. Limusa, IPN. Historia de la Telefonía en México. Teléfonos de México. México, DF.

J. BUTTON, K. CALDERHEAD, Mobile Network Design and Optimization. BT Technol 1996.

KONSTANTINOS PSOUNIS. Active networks: Applications, security, safety, and architectures. IEEE Communications Surveys, 1999.



MARCELO BAGNULO, Realistic Open Security Architecture for Active Networks. IWAN 2002, Zurich, Switzerland, 2002.

MARTINEZ, JORGE. Redes de Comunicaciones. Universidad Politécnica de Valencia.

W. K. HALE. Frequency assignment: theory and applications. Proceedings of the IEEE, 1980, Vol. 68.

- [http:// www.vodafone.com](http://www.vodafone.com)
- [http:// www.avantel.com](http://www.avantel.com)
- [http:// www.gsmworld.com](http://www.gsmworld.com)
- <http://www.mobile-phone-directory.org/Glossary/F/FDMA.html>
- http://www.it.uc3m.es/~gavilan/apuntes/gsm_intro_2000.pdf
- <http://www.burnsidetelecom.com/whitepapers/gsm.pdf>
- http://www.iec.org/online/tutorials/cell_comm/topic06.html
- http://www.iec.org/online/tutorials/acrobat/cell_comm.pdf
- <http://www.cs.hut.fi/~hhk/GPRS/lect/architecture/ppframe.htm>
- http://es.wikipedia.org/wiki/Modulaci%C3%B3n_por_desplazamiento_de_frecuencia
- <http://www.mobilein.com/GPRS.pdf>
- http://www.3g-generation.com/gprs_and_edge.htm
- <http://www.ececs.uc.edu/~cdmc/course/>
- http://apuntes.rincondelvago.com/trabajos_global/telecomunicaciones/10/
- <http://orbita.starmedia.com/delacrus/umts2.htm>



- <http://www.redes.upv.es/stdfi/ficheros/s4%20-%20UMTS2.pdf>
- <http://www.el-mundo.es/ariadna/2002/102/pdf/pag03.pdf>
- <http://www.noticiasdot.com/publicaciones/2003/0903/0109/noticias010903/noticias010903-21.htm>
- <http://w3.uqo.ca/luigi/INF6083/>
- http://www.iese.edu/es/files/5_13370.pdf
- <http://www.expansiondirecto.com/tecnologia/umts/5umts.html>
- http://telematica.cicese.mx/revistatel/archivos/Telem@tica_An_oIII_No17.pdf