



# **UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

---

---

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**DIVISIÓN DE INGENIERÍA ELÉCTRICA**

**T E S I S**

**PLANIFICACIÓN DE RADIO (UTRAN) DE  
UMTS**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES**

**PRESENTAN:**

**CENTENO ARCHUNDIA ALICIA**

**DÍAZ DÍAZ URIEL**

**DIRECTOR DE TESIS:**

**ING. ARTURO JAVIER HUERTA TREJO**

**CO-DIRECTOR DE TESIS:**

**ING. JESÚS REYES GARCÍA**



**MÉXICO D. F.**

**2005**



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.

**Con toda mi gratitud y admiración, dedico este trabajo a:**

**Dios**

Por enseñarme el camino adecuado y por darme la fe, confianza y fortaleza para lograr este objetivo tan importante en mi vida.

**Mis padres**

Por confiar siempre en mí. Agradezco infinitamente su comprensión, apoyo y esfuerzo para haberme guiado correctamente. Sin ellos no hubiera sido posible este logro.

**Hermanos y sobrinos.**

Por que con su alegría, convivencia y apoyo me llenaron de satisfacción y valor para seguir adelante.

**Mis amigos**

A todos mis amigos del trabajo, de la universidad y de mi colonia. Gracias por su amistad y compañía. Gracias por haberme ayudado a tomar las cosas con entusiasmo y alegría

**Mi universidad**

Por ser mi segunda casa que me enseñó a valorar lo importante de la vida y a encontrar mi camino.

**Mi Director y Codirector**

Ing. Arturo Javier Huerta Trejo e Ing. Jesús Reyes García por el apoyo, la asesoría y el tiempo que dedicaron a este trabajo.

**Mis sinodales**

Por su contribución y valiosas aportaciones a este trabajo

Uriel Díaz Díaz

**Con gratitud, admiración y respeto, dedico este trabajo:**

**A mis padres.** Por el cariño y apoyo que me han brindado en todos los instantes de mi vida, por confiar en mí y porque siempre me han alentado a seguir adelante y a esforzarme para alcanzar mis objetivos mediante la constancia y el trabajo.

**A mis hermanas.** Por su amistad y palabras de aliento en todos momentos importantes de mi vida, por transmitirme la alegría de vivir y enseñarme a disfrutar las experiencias nuevas que se presentan en la vida, por los momentos que hemos compartido y que siempre nos mantendrán unidas y por mis sobrinitos que han traído mucha dicha a mi vida.

**A Manuel.** Por hacer que mi vida sea más feliz, por las experiencias y nuevos retos que hemos enfrentado juntos, por estar siempre al otro lado, por creer en mí, por el cariño y el apoyo incondicional que siempre me has brindado y porque contigo he pasado los mejores años de mi vida.

**A mis amigos.** Uriel, por tu amistad, tu trabajo y tu paciencia. Areli, Rodica, Daniel, Erika, Sanka, Miguel y Leonel por los momentos divertidos y difíciles que compartimos en la Facultad.

**A los ingenieros Arturo Huerta y Jesús Reyes.** Por su asesoría, su apoyo y esfuerzo. Además por el tiempo que dedicaron para llevar a cabo la realización de éste trabajo.

Alicia Centeno Archundia

---

**ÍNDICE**

<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>2. CONCEPTOS BÁSICOS DE TELEFONÍA CELULAR</b> .....	5
2.1 Estructura Fundamental .....	5
2.1.1 Célula .....	5
2.1.2 Racimo o Cluster.....	5
2.1.3 Reuso de frecuencia .....	6
2.1.4 Transferencia o Traspaso de Llamada (Handover) .....	6
2.1.5 Componentes de un Sistema Celular.....	7
2.2 Técnicas de Acceso al Medio.....	9
2.2.1 Acceso Múltiple por División de Frecuencia (FDMA).....	9
2.2.2 Acceso Múltiple por División de Tiempo (TDMA) .....	10
2.2.3 Acceso Múltiple por División de Código (CDMA).....	10
2.2.4 Técnicas de Acceso al Medio Híbridas .....	12
2.3 Tipos de Modulación Digital .....	15
2.3.1 Desplazamiento por División de Amplitud “ASK” (Amplitude Shift Keying).....	15
2.3.2 Desplazamiento por División de Frecuencia “FSK” (Frequency Shift Keying) .....	16
2.3.3 Desplazamiento por División de Fase “PSK” (Phase Shift Keying).....	17
2.3.3.1 Modulación BPSK .....	17
2.3.3.2 Modulación QPSK y MPSK .....	18
2.3.3.3 Modulación DPSK (Diferencial Phase Shift Keying) .....	19
2.3.4 Modulación MSK (Minimum Shift Keying) .....	20
2.3.4.1 Modulación GMSK (Gaussian Minimum Shift Keying)....	21
2.4 Sistemas de Telefonía Celular de Segunda Generación .....	22
2.4.1 GSM Sistema Global de Comunicaciones Móviles (Global System for Mobile) .....	23
2.4.2 IS 136 TDMA .....	29
2.4.3 IS 95 CDMA .....	29
2.4.4 PDC Comunicaciones Digitales Personales (Personal Digital Cellular) .....	30
2.4.5 Comparación entre Tramas y Parámetros Técnicos .....	31
2.5 Evolución y Migración a 3G (Tercera Generación) .....	33
2.5.1 Evolución de CdmaOne™ (CDMA IS-95) a 3G .....	34
2.5.1.1 CDMA y el espectro .....	35
2.5.2 Migración de GSM y TDMA IS-136 a 3G .....	36
2.5.2.1 HSCSD (High Speed Circuit-Switched Data) .....	36
2.5.2.2 GPRS (General Packet Radio Service) .....	37
2.5.2.3 EDGE (Enhanced Data Rates for Global Evolution) .....	41

2.5.2.4 UMTS Sistema Universal de Telecomunicaciones Móviles (Universal Mobile Telecommunications System) .....	42
2.5.3 Migración de PDC a 3G .....	43
2.6 Situación en México .....	43
2.6.1 México y los Sistemas de Segunda Generación .....	45
2.7 UMTS Servicios y Aplicaciones .....	48
<b>3. DESCRIPCIÓN GENERAL DE COMPONENTES DE UMTS:</b>	
<b>FUNCIONES</b> .....	51
3.1 Núcleo de Red (CN Core Network).....	52
3.1.1 Arquitectura del CN (3GPP R'99).....	53
3.1.2 Administración de Movilidad (MM Mobility Management).....	55
3.1.2.1 Identidades de Usuarios y sus Terminales .....	56
3.1.3 Administración de Comunicación (CM Communication Management).....	57
3.2 Red de Acceso de Radio de UMTS (UTRAN).....	58
3.2.1 WCDMA (Wideband CDMA).....	58
3.2.1.1 Factor de Esparcimiento (SF Spreading Factor) y Ganancia de Proceso (Gp).....	60
3.2.1.2 Propagación Multitrayecto y Receptor Rake .....	62
3.2.1.3 Control de Potencia .....	65
3.2.1.4 Softer Handover y Soft Handover.....	67
3.2.1.5 Hard Handover .....	69
3.2.2 Componentes UTRAN.....	69
3.2.2.1 Subsistemas de Red Radio (RNS).....	70
3.2.2.2 Controlador de Red Radio (RNC).....	70
3.2.2.3 Nodo B .....	71
3.2.2.4 Interfases .....	72
3.2.3 Red de Transporte .....	73
3.2.4 Sistema de Control de Acceso.....	75
3.2.5 Codificador de voz AMR (Adaptative Multi-Rate) .....	76
3.3 La Terminal UMTS .....	77
3.3.1 Arquitectura de la Terminal.....	77
3.3.2 Diferenciación de Terminales .....	80
<b>4. ARQUITECTURA DE PROTOCOLOS DE LA INTERFAZ DE AIRE</b>	
<b>UTRAN</b> .....	83
4.1 Capa Física L1 .....	85
4.1.1 Canales de Transporte .....	85
4.1.2 Canales Físicos.....	87
4.1.2.1 Canales Físicos Ascendentes Dedicados .....	88
4.1.2.2 Canal Físico Descendente Dedicado .....	89
4.1.2.3 Canales Físicos Comunes .....	89
4.1.3 Códigos Spreading y Scrambling .....	90
4.1.3.1 Códigos de canalización (Spreading) .....	90
4.1.3.2 Códigos de scrambling .....	92

---

4.1.4	Funciones de la Capa Física L1 .....	92
4.2	Capa de Enlace L2 .....	96
4.2.1	Capa MAC (Control de Acceso al Medio “Médium Access Control”) .....	96
4.2.1.1	Funciones de la capa MAC .....	96
4.2.1.2	Canales Lógicos .....	96
4.2.2	Capa RLC (Control de Enlace de Radio “Radio Link Control”) .....	98
4.2.3	Capa BMC (Broadcast / Multicast Control).....	98
4.2.4	Capa PDCP (Protocolo de Control de Información de Paquetes “Packet Data Control Protocol”).....	99
4.3	Capa de Red L3 .....	99
4.3.1	Capa RRC (Control de Recursos de Radio “Radio Resorce Control”) .....	99
4.3.1.1	Administración de los Recursos de Radio RRM (Radio Resource Management) .....	100
<b>5.</b>	<b>PLANIFICACIÓN DE RADIO DE UMTS .....</b>	<b>103</b>
5.1	Estimación de Radio Enlace .....	105
5.1.1	Potencias de Transmisión.....	106
5.1.2	Ganancias de Antenas .....	106
5.1.3	Potencia Isotrópica Radiada Equivalente (PIRE) .....	106
5.1.4	Densidad de Ruido Térmico.....	106
5.1.5	Figura de Ruido.....	107
5.1.6	Potencia de Ruido del Receptor .....	108
5.1.7	Margen de Interferencia .....	108
5.1.8	Ganancia de Procesamiento .....	109
5.1.9	Eb/No .....	109
5.1.10	Sensibilidad del Receptor .....	112
5.1.11	Pérdidas por el Espacio Libre y Márgenes de Desvanecimiento... 113	
5.1.11.1	Modelos de Propagación .....	114
5.1.11.1.1	Modelo de Walfisch Ikegami.....	114
5.1.11.1.2	Modelo de Okumura-Hata y Radio de Cobertura. 116	
5.1.11.2	Desvanecimientos de la Señal.....	117
5.1.11.2.1	Desvanecimiento Rápido (Fast Fading) .....	118
5.1.11.2.2	Desvanecimiento Lento .....	120
5.1.12	Probabilidad de Cobertura.....	121
5.1.13	Técnicas de Diversidad.....	121
5.1.13.1	Diversidad Espacial o de Espacio.....	122
5.1.13.2	Diversidad angular.....	123
5.1.13.3	Diversidad de Frecuencia .....	124
5.1.13.4	Diversidad de Polarización.....	124
5.1.13.5	Diversidad por Tiempo.....	124
5.1.14	Métodos de Combinación.....	124
5.1.14.1	Combinación por Selección.....	125
5.1.14.2	Combinación de Proporción Máxima.....	125
5.1.14.3	Combinación de Ganancia Igual.....	126
5.1.15	Ganancia de “soft hanover” .....	126

---

---

5.1.16 Máximas pérdidas de trayecto .....	127
5.1.17 Otros factores.....	127
5.1.17.1 Margen por penetración en edificios .....	127
5.1.17.2 Pérdidas por cables, conectores .....	127
5.2 Factores de Carga.....	128
5.2.1 Factor de Carga para el Enlace Ascendente (Uplink).....	128
5.2.2 Factor de Carga para el Enlace Descendente (Downlink).....	129
5.3 Análisis de Capacidad y Cobertura.....	130
5.3.1 Potencias de Transmisión.....	131
5.3.1.1 Potencia en el Nodo B .....	131
5.3.1.2 Potencia de los UE's.....	132
5.3.2 Desvanecimiento Lento.....	133
5.3.3 Desvanecimiento Rápido .....	138
5.3.4 Eb/No .....	140
5.3.5 Ganancia de Traspasos Suaves.....	144
5.3.6 Factor de Ortogonalidad $\alpha$ en el enlace descendente.....	147
5.3.7 Interferencia Intercélula .....	150
5.4 Dimensionamiento de los RNC.....	153
5.5 Caso Práctico de Planificación Celular en UMTS .....	155
5.5.1 Requerimientos .....	155
5.5.2 Datos y suposiciones .....	155
5.5.3 Desarrollo .....	156
5.5.4 Resultados .....	160
<b>6. CONCLUSIONES .....</b>	<b>163</b>
<b>ANEXO A.....</b>	<b>167</b>
<b>GLOSARIO DE TÉRMINOS .....</b>	<b>175</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>181</b>

## 1. Introducción

Las tecnologías de tercera generación son muy prometedoras para las comunicaciones inalámbricas. El mundo de las telecomunicaciones móviles cada vez están enfocándose en la transición de la segunda generación (2G) hacia la tercera generación (3G) como la tecnología UMTS (Universal Mobile Telecommunications System); es decir, invirtiendo en el diseño e implantación de redes inalámbricas móviles avanzadas capaces para suministrar servicios como Internet / multimedia a altas velocidades, basándose sobre la plataforma de acceso de radio WCDMA (Wideband Code Division Multiple Access).

Las operadoras de hoy de telefonía celular se encuentran en un constante reto, analizando las opciones, ventajas y desventajas que podrán obtener con alguna de ellas, y cuya mirada esta fijada principalmente en CDMA 2000 y UMTS.

El camino que escoja cada operadora dependerá de la parte tecnológica y económica, que estará influida además por el desarrollo del país en que se encuentre. Algunas fuentes estadísticas revelan que UMTS será la de mayor uso mundial, debido que actualmente GSM (Global System for Mobile) se encuentra implementada en gran parte del mundo.

En México, esta batalla estará discutida por las operadoras: Telcel, Telefónica, Iusacell y Unefón. Por el momento Telcel y Telefónica son las únicas que utilizan GSM, Telefónica podría migrar al igual que Telcel a UMTS; mientras que Iusacell y Unefón por utilizar CDMA evolucionarían a CDMA 2000. Por lo anterior, es de esperarse que en el momento de implantar redes de 3G en México, las dos principales operadoras lo harán con UMTS, de ahí la importancia de analizar esta tecnología en nuestro país.

Con las tecnologías de tercera generación se podrán obtener nuevos servicios y aplicaciones como lo son "roaming", interoperabilidad global y transmisión de datos a alta velocidad, teniendo así acceso a Internet, videoteléfono, aplicaciones de multimedia móviles, etc. Sin embargo, estos alcances solo se están palpando en los países desarrollados.

Las actuales redes de 2G, principalmente los sistemas celulares basados en GSM continuarán desarrollando y buscando facilidades sobre el mercado como nuevos servicios de paquetes de datos como Internet, video en tiempo real, etc., por tal motivo más y más planificadores de radio de una red y otros profesionales de comunicaciones inalámbricas están familiarizándose con la tecnología de radio WCDMA y estarán preparándose para construir y lanzar redes de 3G de alta calidad.

La necesidad de contar con información en español para llevar a cabo estudios de dimensionamiento de una red para UMTS, fue lo que nos impulsó para el análisis de esta tesis. Si en un futuro se lograra emigrar en Latinoamérica (y en especial en México) hacia UMTS es necesario tener fuentes complementarias que auxilien a la planificación de red de

radio (UTRAN) de UMTS, ya que esta planificación es de vital importancia para la implementación de la tecnología.

Los planificadores de radio en particular afrontan un número de nuevos desafíos al moverse de lo familiar en 2G a las nuevas redes de 3G, muchos de ellos relacionados con el diseño y planificación de verdaderas redes de radio multi-servicio, y unos a los aspectos particulares del método de acceso de radio WCDMA.

Obviamente hay muchas diferencias en detalle entre WCDMA y GSM, en los parámetros de red de radio, por ejemplo:

- Traspasos suaves (Soft Handover). El traspaso suave es un rasgo específico de los sistemas CDMA, tal como los sistemas basados en IS- 95, o como en nuestro caso WCDMA.
- Reuso de frecuencias: Esto llegará a ser relativamente más importante en WCDMA que en 2G, debido al patrón de reuso de frecuencia en WCDMA (siendo 1).
- Capacidad basada en “interferencia”: A diferencia de GSM veremos que en WCDMA la capacidad estará limitada por la interferencia total de los usuarios dentro de la misma célula, por el simple hecho de estar utilizando la “misma frecuencia”.

Dentro del diseño de una red celular ésta necesita ser planeada y optimizada. El proceso de planificación comienza con el análisis de tráfico (capacidad) y cobertura. Este análisis arroja los primeros resultados preliminares acerca del área geográfica cubierta y la estimación de usuarios esperados.

La optimización de una red es mucho más eficiente si la red fue adecuadamente planeada desde un principio. La optimización es un proceso continuo que es parte de la operadora para mantener y ofrecer la misma o mejor calidad que en la etapa de planificación.

En general, todos los sistemas de Tercera Generación muestran una relación certera entre capacidad y cobertura, pero el proceso de planificación por sí solo no solo depende de la propagación sino también de la carga de la célula o celda. De esta manera, los resultados de la planificación de la red son sensitivos a los requerimientos de capacidad, los cuales hacen que el proceso sea menos directo. Idealmente los sitios deben ser seleccionados basados sobre el análisis de la red con la carga planeada y con el portafolio de tráfico de los servicios requeridos.

Una vez analizado lo anterior, la presente tesis se fundamenta en las posibles tendencias de las tecnologías actuales para comunicaciones inalámbricas, teniendo como objetivo principal el “realizar un estudio sobre una tecnología de tercera generación (UMTS) en comunicaciones inalámbricas y analizar las características y elementos fundamentales que brinden una mejor y adecuada planificación celular de dicha tecnología, con el fin de generar una fuente de información que sirva como referencia para una implantación futura”.

Dado que no se contó con los recursos prácticos necesarios, las soluciones que se presentarán están basadas en simulaciones mediante un programa en Matlab y en las investigaciones realizadas; para lo cual nos apoyamos en una serie de actividades que permitieron resolver el problema planteado en el trabajo de tesis como lo fueron: Investigación y recopilación de información en diversas fuentes, sesiones de asesoría, participación en cursos de capacitación y realización de debates.

Por medio de la realización de esta tesis obtuvimos un documento que contiene algunos de los puntos más importantes a tomarse en cuenta en la planificación de radio de UMTS (WCDMA), basándonos en la situación que guardan actualmente las comunicaciones inalámbricas de Segunda Generación y su camino a la Tercera generación, para ello consideramos las principales velocidades de transmisión de los servicios en UMTS (12.2 Kbps, 64 Kbps, 144 Kbps y 384 Kbps) y la influencia de los principales parámetros en una planificación celular de UMTS. Esto permitirá tener información complementaria que sirva como referencia para aquellas empresas que tengan planeado llevar a cabo en un futuro una implementación de la tercera generación de comunicaciones inalámbricas. Además de esto mostramos una visualización de las tendencias de las comunicaciones inalámbricas hacia 3G, entendiendo las ventajas y desventajas desde el punto de vista tecnológico.

## 2. CONCEPTOS BÁSICOS DE TELEFONÍA CELULAR

### 2.1 Estructura Fundamental

#### 2.1.1 Célula

El concepto celular viene dado por la sustitución de una sola antena con transmisor de alta potencia para una determinada región, por la división en áreas de esa región, utilizando en cada área un transmisor de baja potencia; es decir, en lugar de usar un potente transmisor se usan muchos transmisores de baja potencia localizados en la región de cobertura. Este concepto tiene ventajas importantes, ya que al reducir el territorio en cuestión, en pequeñas áreas se puede reutilizar la misma frecuencia en una y otra celda, por lo que se tiene mejor administración y aprovechamiento de los canales y se logra tener un incremento en el número de conversaciones.

Ahora bien, se le llama “célula” a cada área o celda en que se dividió la región de cobertura. La “célula” es entonces la unidad geográfica básica de un sistema celular. El término celular surgió por la forma en panal de las celdas (ver figura 2.1.1). Las células en realidad son estaciones base transmitiendo sobre pequeñas áreas geográficas que son representadas esquemáticamente con hexágonos.

#### 2.1.2 Racimo o Cluster

Un “cluster” es un conjunto de células. Todos los canales disponibles de la red celular son distribuidos entre las células del cluster y cada célula tiene una frecuencia diferente. Conforme se van adhiriendo racimos (clusters) se alcanza una cobertura en particular.

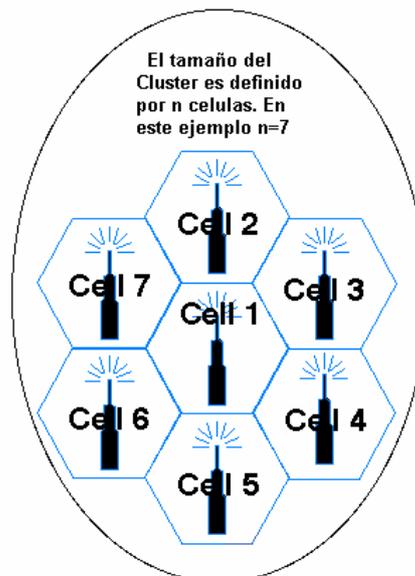


Figura 2.1.1 Cluster conformado por 7 células

### 2.1.3 Reuso de frecuencia

Como solo un número limitado de canales de frecuencias de radio fueron disponibles para los sistemas móviles, se tuvo la necesidad de buscar una forma en que esos canales se re-utilizaran, de tal modo que una portadora soportara más de una conversación al mismo tiempo. La solución que se encontró fue llamada “planificación de frecuencia” o “reuso de frecuencia”. En un cluster se reparten totalmente todos los canales disponibles, por lo que se asignan canales diferentes a las células pertenecientes a ese racimo. El mismo número de canales son distribuidos entre las células del siguiente cluster, por lo tanto el reuso de frecuencia sólo se aplica entre celdas de diferentes racimos. Las células que utilicen los mismos canales deben estar lo suficientemente separadas para que sus frecuencias no produzcan interferencia.

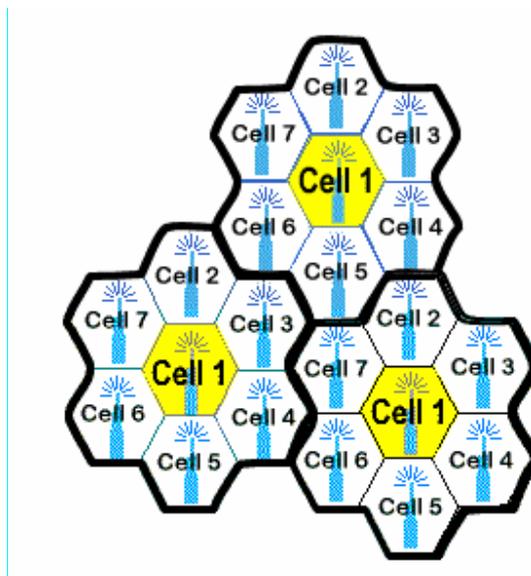


Figura 2.1.2 Reuso de frecuencia

En la figura 2.1.2 las células con el mismo número tienen los mismos canales (mismas frecuencias). Como el número de canales disponibles en la figura es 7, entonces el factor de reuso de frecuencia es  $1/7$ , es decir, cada célula está usando un  $1/7$  de los canales celulares disponibles.

### 2.1.4 Transferencia o traspaso de llamada (Handover)

Este concepto consiste en el proceso de cambiar una comunicación de un canal a otro. Generalmente cuando un usuario se mueve de una célula a otra es necesario cambiar su comunicación a la nueva celda, pero como entre células vecinas no se utilizan los mismos canales entonces el problema principal se reduce a transferir una llamada de un canal de radio a otro conforme el móvil (usuario) cruza células adyacentes.

Cuando la unidad móvil se mueve fuera del área de cobertura de una célula dada, la recepción llega a ser débil. En este punto, la célula en uso necesita hacer una transferencia o

handover (también llamado handoff). El sistema conmuta la llamada a un canal donde la intensidad de la señal sea más fuerte para la recepción del móvil en una nueva célula sin interrumpir la comunicación. La llamada continúa tanto como el usuario desee hablar y nunca se entera del handover realizado.

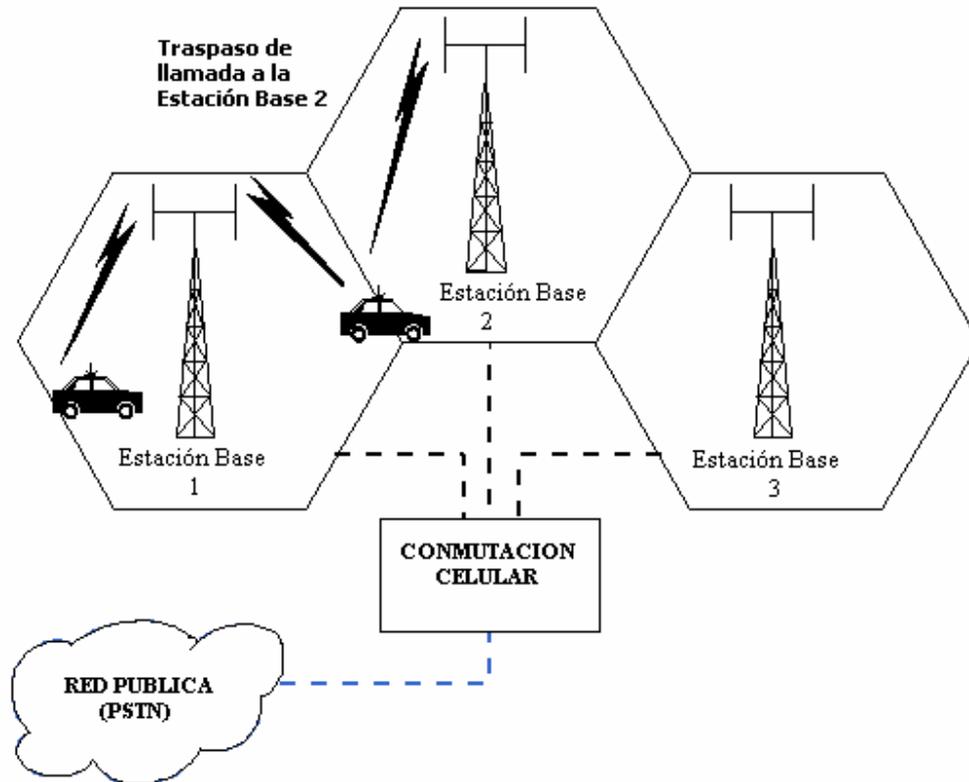


Figura 2.1.3 Traspaso de llamada

### 2.1.5 Componentes de un Sistema Celular

El sistema de comunicaciones celulares consiste de los siguientes componentes principales, que trabajan conjuntamente para proveer un servicio móvil a los usuarios:

- Red Telefónica Pública Conmutada (PSTN)
- Oficina de Conmutación de Telefonía Móvil (MTSO)
- Estación Base
- Unidad móvil o Terminal de usuario (TE)

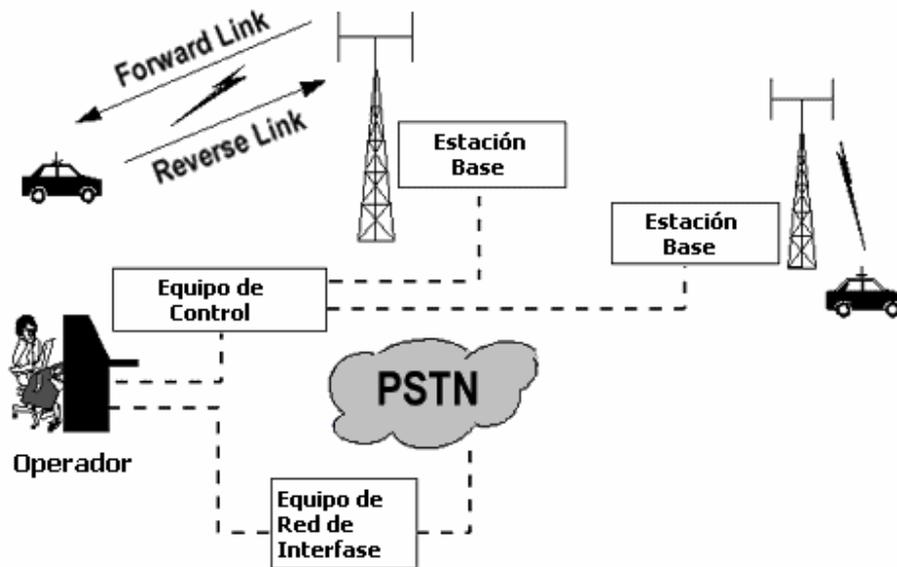


Figura 2.1.4 Componentes de un Sistema Celular

### Red Pública Telefónica Conmutada (PSTN)

La PSTN está integrada por redes locales que proporcionan servicios de telefonía fija. Existen convenios de interconexión entre la red pública telefónica conmutada y los sistemas celulares, permitiendo de esta manera un intercambio de información entre dispositivos de telefonía fija y telefonía móvil, es decir, que gracias a la PSTN se puede realizar una llamada desde un teléfono móvil hacia uno fijo y viceversa.

### Oficina Telefónica Móvil de Conmutación (MTSO)

La MTSO es una oficina central para la conmutación móvil. La MTSO es mejor conocida como el "Centro de Conmutación Móvil (MSC)" y se encarga del control y conmutación de las llamadas. El MSC cumple también la función de ser el elemento principal para la interconexión con la red pública telefónica conmutada.

### Estación Base

La Estación Base es la ubicación física del equipo de radio que provee la cobertura dentro de una célula. Algunos elementos con que dispone una estación base en una célula son: fuentes de poder, transmisores y receptores de radiofrecuencia RF y sistemas de antenas.

### Terminal de Usuario (TE)

La unidad del suscriptor móvil o terminal de usuario consiste de una unidad de control y un transceptor que transmite y recibe señales de radiofrecuencia a una célula o estación base.

## 2.2 Técnicas de Acceso al medio

Las técnicas de acceso al medio surgen con la necesidad de compartir un recurso de comunicaciones finito entre varios usuarios, en el caso de las compañías que prestan servicios de comunicaciones inalámbricas ese recurso es un segmento del ancho de banda del espectro radioeléctrico y existen principalmente 3 formas de acceder a ese medio realizando divisiones en frecuencia, tiempo y código, conocidas como FDMA, TDMA Y CDMA.

### 2.2.1 Acceso Múltiple por División de Frecuencia (FDMA)

En FDMA el ancho de banda se divide en segmentos de frecuencia más pequeños separados por bandas de guarda para evitar interferencias entre canales contiguos y cada segmento se asigna a un usuario todo el tiempo que lo necesite. Esta técnica presenta un inconveniente en lo que respecta al uso eficiente del ancho de banda ya que el canal se asigna a un usuario, esté transmitiendo información o no, sin embargo presenta la ventaja de que su implementación es relativamente sencilla debido a que solo se usa una mezcla para realizar el cambio de frecuencia de la señal original y no requiere sincronización dado que cada canal es independiente de los demás. Es utilizada con modulación FM y PSK. En la figura 2.1.1 se muestra un diagrama de lo que se hace con FDMA.

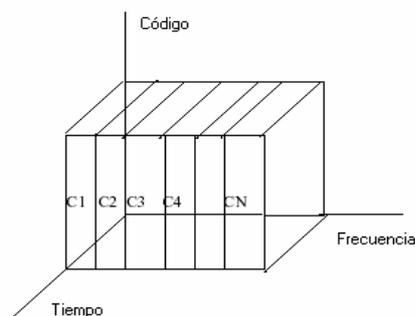
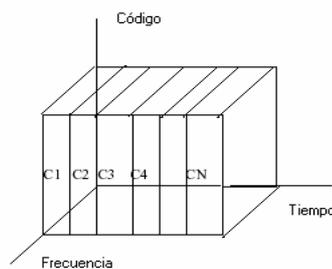


Figura 2.2.1 Acceso múltiple por división de frecuencia

### 2.2.2 Acceso Múltiple por división de tiempo (TDMA)

Con esta técnica se trabaja en el dominio del tiempo, en este caso a cada usuario se le asigna una ranura de tiempo “time slot”, no un segmento de frecuencia y cuando llega el turno del usuario todo el ancho de banda con que se cuenta esta disponible para que lo utilice y puede transmitir durante el tiempo que dura el time slot. El conjunto de los time slots de los usuarios una sola vez se conoce como frame. En TDMA solo se requiere una portadora para todos los usuarios, debido a que todos transmiten con la misma frecuencia pero en tiempos diferentes y es una técnica práctica con un sistema digital como podría ser PCM [4].

Tiene mayor capacidad que FDMA y es utilizado por las tecnologías IS-54 y GSM. Presenta con respecto a FDMA la mejora de que en el equipo receptor solo una portadora está presente en el amplificador de potencia lo cual evita la generación de ruido por intermodulación, además de que no se desperdicia espectro porque no se requieren bandas de guarda. También permite el intercambio de señales de control entre la estación y la estación base sin interrumpir la transmisión de voz, por lo que resulta fácil ofrecer nuevos servicios y es más flexible el sistema dado que permite el uso de datos digitales.



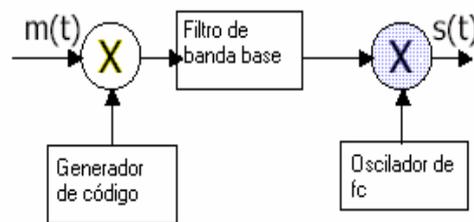
**Figura 2.2.2** Acceso múltiple por división de tiempo

### 2.2.3 Acceso Múltiple por división de código (CDMA)

CDMA es una aplicación del espectro disperso y permite que múltiples señales ocupen el mismo ancho de banda de RF para transmitirse simultáneamente sin interferir una con otra. Existen dos tipos de espectro disperso: Salto de frecuencia y secuencia directa denominada también como CDMA que es la que se describe en el presente trabajo.

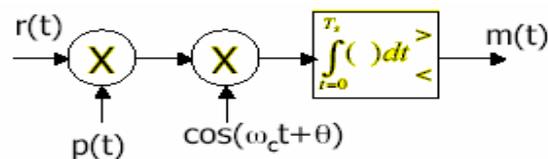
Como su nombre lo indica con el espectro disperso la señal de información se dispersa sobre un ancho de banda grande y aunque esto parece romper con el propósito de conservar la frecuencia, el espectro disperso permite que muchos usuarios puedan transmitir en la misma frecuencia con interferencia mínima entre ellos usando códigos ortogonales [4]

El principio básico sobre el cual se sustenta esta técnica es la modulación de la señal binaria por una secuencia de código o “chips” pseudo-aleatoria, distinta para cada usuario y ortogonales entre ellas pero de velocidad mucho más rápida que la señal de datos, lo cual en la frecuencia origina el ensanchamiento espectral de la señal de información, además de ensanchar el espectro de la señal original, la modulación de la señal binaria con la secuencia de código tiene la función de codificar la información a transmitir y permitir un mejor rechazo a los desvanecimientos de la señal en bandas estrechas del espectro. En la siguiente figura (2.2.3) se muestra la forma general de un transmisor de CDMA.



**Figura 2.2.3** Transmisor  
 $m(t)$ : señal de información digital     $s(t)$ : señal a transmitir

A pesar de que en el receptor se encuentran todas las señales, por medio del uso de un correlador que acepta únicamente la señal que cumple con el código utilizado en el transmisor, se separa la que se desea y se realiza sobre su espectro el proceso contrario de dispersión (despreading), mientras que el resto de las señales solo contribuye como ruido aleatorio. La ventaja que presenta la técnica de Espectro disperso es que las señales interferentes de banda angosta son disminuidas en el receptor al realizar la correlación entre ellas y la secuencia de chips. En la figura 2.2.4 se muestra el diagrama de bloques de un receptor de CDMA y en la figura 2.2.5 se muestra una explicación más detallada de lo que sucede con la señal en el proceso mencionado.



**Figura 2.2.4** Receptor CDMA.

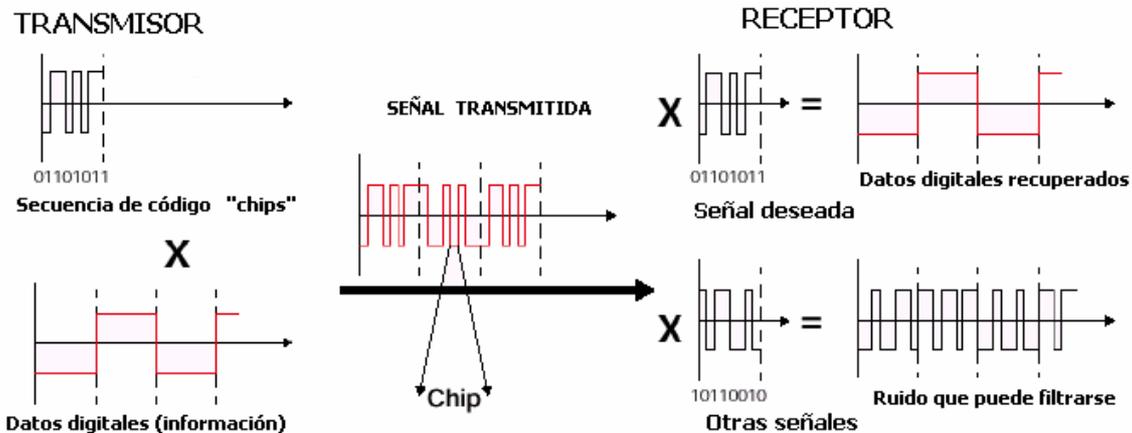


Figura 2.2.5 Descripción del proceso CDMA

CDMA tiene una capacidad mayor que FDMA, puede trabajar con diferentes formatos digitales y la potencia de transmisión requerida es menor que en las otras técnicas lo cual se traduce en ahorro en la infraestructura, el equipo y la batería del equipo móvil. Sin embargo en CDMA los requerimientos de ancho de banda son muy superiores a otros sistemas y la recepción de la señal se puede garantizar solamente si los códigos son ortogonales entre sí y las señales mutuamente interferentes que se desean recibir tienen igual potencia.

#### 2.2.4 Técnicas de Acceso al Medio Híbridas

A cada una de las operadoras que prestan el servicio de telefonía celular se le asigna una banda del espectro radioeléctrico reservado para ese servicio, la banda de frecuencias asignada posteriormente se divide en sub-bandas más pequeñas. De acuerdo con la tecnología utilizada el ancho de banda de los canales puede variar, por ejemplo para el caso de GSM los canales utilizados son de 200 kHz.

Para hacer esa división en canales de la banda asignada a una compañía se utiliza la técnica de acceso al medio FDMA, es por eso que los sistemas de telefonía celular actuales no utilizan solo una de las técnicas de acceso al medio mencionadas en la sección anterior, mas bien utilizan la combinación de éstas para llevar a cabo una utilización más eficiente del espectro radioeléctrico que se les ha asignado y permitir el acceso a un mayor número de usuarios. Algunas combinaciones son las siguientes:

- **FDMA / TDMA:** Utiliza FDMA para dividir la banda de frecuencias en canales de ancho de banda menor y TDMA para asignar ranuras de tiempo a los usuarios para transmitir, es utilizado por ejemplo por la tecnología GSM.

- FDMA / CDMA: Utiliza FDMA para dividir la banda de frecuencias en canales de ancho de banda menor y CDMA para distinguir a los distintos usuarios que se encuentran utilizando un canal. Utilizado por la tecnología IS-95.

La banda asignada a una operadora además está conformada por dos anchos de banda uno utilizado para las transmisiones en el sentido de la estación base al móvil y el otro para las transmisiones del móvil a la estación base.

Para separar la transmisión en el enlace descendente de la del enlace ascendente se utilizan principalmente los siguientes modos de duplexión:

**FDD (Duplexión por División de Frecuencia):** Utiliza frecuencias distintas para el enlace ascendente y descendente. En cada uno de los enlaces las señales se encuentran continuamente transmitiendo en paralelo.

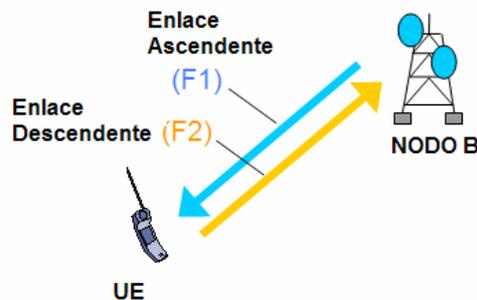


Figura 2.2.6 Duplexión por División de Frecuencia

**TDD (Duplexión por División de Tiempo):** Utiliza dos distintas ranuras de tiempo en la misma frecuencia para los enlaces ascendente y descendente. Las señales se encuentran transmitiendo discontinuamente por turnos, pero dado que la separación en tiempo es sumamente pequeña se tiene la percepción de que se transmite al mismo tiempo.

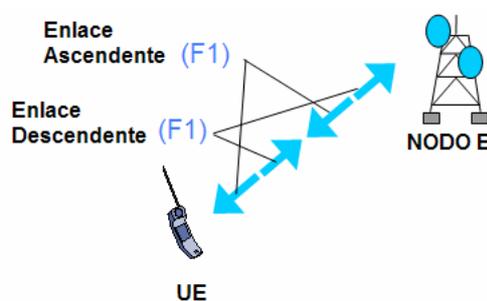


Figura 2.2.7 Duplexión por División de Tiempo

- **FDMA – FDD:** Es la técnica de acceso utilizada en los sistemas AMPS, el acceso múltiple por división de frecuencia (FDMA) se utiliza en combinación con FDD y de ésta forma cada una de los dos sub-bandas (para enlace ascendente y descendente) se subdividen en N bandas más pequeñas para crear N canales en cada una. Una vez realizada esa subdivisión cada par de canales de ambas bandas es considerado como un canal full-duplex.
- **TDMA – FDD:** En esta combinación la parte de FDD es la misma que FDD/FDMA. A cada canal físico se asigna una o mas ranuras de tiempo por frame, en el que puede transmitir en una dirección a la vez. El móvil tiene permitido transmitir solo durante la duración del “*time spot*” en cada “frame” el móvil transmitirá en la ranura de tiempo asignada y esperará su turno en el siguiente “frame”. Durante el tiempo de otros “*time slots*” el UE se mantiene en modo de espera puesto que no tiene ningún canal físico asignado.
- **TDMA – TDD:** En éste método la máxima tasa de bit para la interfaz de aire en total considerando ambas direcciones se divide entre el número total de canales físicos a ser duplexados, y las direcciones de los enlaces ascendentes para un canal en específico se crean dividiendo la tasa de bits asignada a cada canal entre las dos direcciones.
- **CDMA – TDD y CDMA – FDD:** También existen combinaciones para las CDMA siguiendo el comportamiento descrito anteriormente para CDMA- FDD y CDMA-TDD, en éste caso todos los usuarios utilizan la misma frecuencia y pueden transmitir simultáneamente.

A continuación se muestra una tabla con las técnicas de acceso utilizadas por cada una de las tecnologías.

<b>Tecnología</b>	<b>AMPS/ NAMPS</b>	<b>TDMA (IS-54, IS-136)</b>	<b>CDMA (IS-95)</b>	<b>GSM</b>	<b>PDC</b>
Técnica de Acceso Utilizada	FDMA/ FDD	TDMA/ FDD	CDMA/ FDD	TDMA/ FDD	TDMA/ FDD

Dentro de la familia de estándares IMT-2000 de la UIT se tienen las siguientes tecnologías de acceso de radio.

<b>Tecnología</b>	<b>IMT-DS</b>	<b>IMT-MC</b>	<b>IMT-TC</b>	<b>IMT-SC</b>	<b>IMT-FT</b>
Técnica de Acceso Utilizada	CDMA/ FDD	CDMA/ FDD	CDMA/ TDD	TDMA/ FDD	TDMA/ TDD

## 2.3 Tipos de Modulación Digital

Hoy en día la mayoría de los sistemas de comunicación como la telefonía celular utilizan técnicas de modulación digital. Como es sabido, la modulación es un proceso mediante el cual la señal de información modula una senoide llamada “portadora”, que es convertida en un campo electromagnético para su propagación (señal de radiofrecuencia RF) al destino deseado. La utilidad de la modulación radica en acoplar eficientemente la onda electromagnética al espacio, simplificando el tamaño de las antenas utilizadas.

En modulación digital las técnicas se clasifican de acuerdo a la modificación de uno de los tres parámetros de la portadora: amplitud, frecuencia o fase. A continuación se explicaran las principales técnicas de modulación digital en sistemas de comunicaciones inalámbricas.

### 2.3.1 Desplazamiento por División de Amplitud “ASK” (Amplitude Shift Keying)

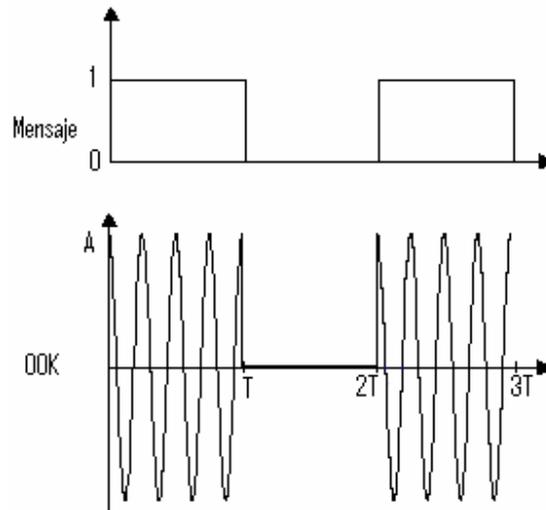
En la modulación digital de amplitud, la amplitud de una señal portadora cambia entre dos o mas valores posibles de acuerdo a la forma de onda moduladora (cuadrada o tren de impulsos). La onda de amplitud modulada resultante consiste en pulsos de radiofrecuencia RF, llamados símbolos digitales, cada uno de los cuales tiene una duración T.

La expresión general para la onda ASK es:

$$s_i(t) = A_i(t) \cos(\omega_c t + \phi) \quad \begin{array}{l} i = 1, 2, \dots, M \\ 0 \leq t \leq T \end{array} \quad (2.1)$$

En donde  $A_i(t)$  representa la amplitud variante en el tiempo,  $\omega_c$  y  $\phi$  representan la frecuencia angular y la fase constantes de la portadora respectivamente y M indica la codificación general M-aria que depende del número (m) de bits que utiliza el modulador para producir una de las formas de onda disponibles del conjunto de  $M = 2^m$ .

En el caso binario, en donde  $m=1$ , se pueden tener dos niveles de amplitud y si uno de esos niveles es cero se le llama OOK (On-Off Keying) a la modulación ASK. En la figura 2.3.1 se muestra un ejemplo de esta modulación.



**Figura 2.3.1.** Modulación OOK.

### 2.3.2 Desplazamiento por División de Frecuencia “FSK” (Frequency Shift Keying)

La expresión general para la modulación FSK es:

$$S_i(t) = A \cos(\omega_i t + \phi) \quad \text{para } i=1, 2, \dots, M \quad (2.2)$$

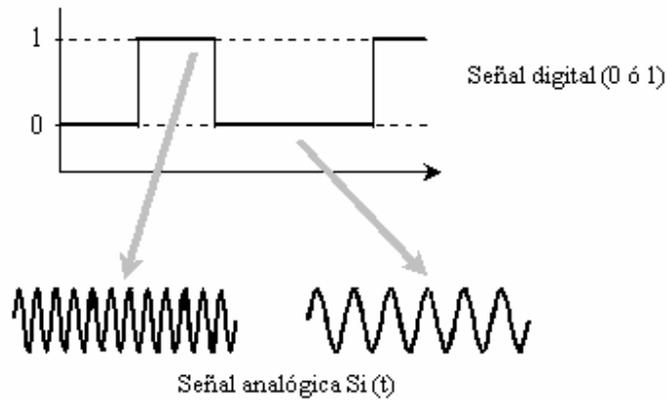
Como se puede observar, la portadora consiste de una señal senoidal donde  $S_i(t)$  es el valor instantáneo de la forma de onda,  $A$  es la amplitud de la señal,  $\omega_i$  es la frecuencia angular de la forma de onda y  $\phi$  es el cambio de fase.

En FSK los parámetros  $A$  y  $\phi$  (amplitud y fase) se mantienen constantes, mientras que  $\omega_i$  varía dependiendo de la señal de información (señal moduladora).

Para el caso más sencillo  $M=2$  se obtiene BFSK (Binary Frequency Shift Keying):

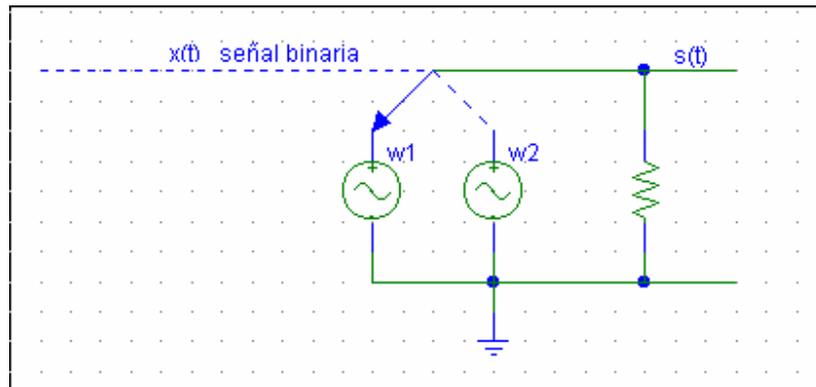
$$\begin{aligned} S_1(t) &= A \cos(\omega_1 t + \phi) && \text{representa "0"} \\ S_2(t) &= A \cos(\omega_2 t + \phi) && \text{representa "1"} \end{aligned}$$

La señal  $S_1(t)$ , representa por ejemplo al dígito binario “0”, mientras que  $S_2(t)$  al dígito “1”, tal y como se muestra en la figura 2.3.2.



**Figura 2.3.2.** Modulación FSK

La forma más sencilla de construir un modulador BFSK consiste en colocar dos osciladores en paralelo (o un VCO) con  $\omega_1$  y  $\omega_2$  respectivamente, de tal forma que solo un oscilador este activado en un instante dado dependiendo si la señal de entrada es “1” ó “0”.



**Figura 2.3.3.** Modulador FSK (BFSK)

### 2.3.3 Desplazamiento por Modulación de Fase “PSK” (Phase Shift Keying)

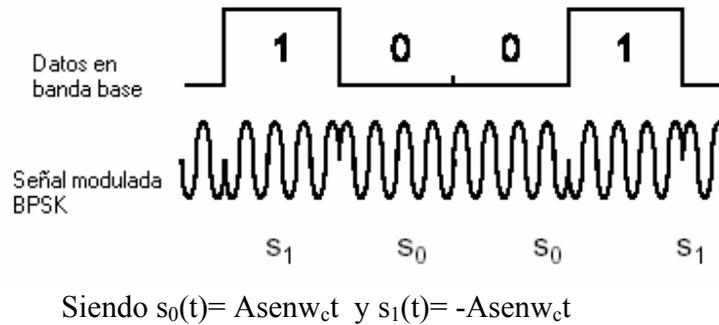
Es el tipo de modulación en el que la fase de la señal portadora se alterna entre 2 o mas valores de acuerdo con la señal digital a transmitir, la expresión general de una señal PSK es:

$$s_i(t) = A \cos(\omega_o t + \phi_i(t)) \quad (2.3)$$

#### 2.3.3.1 Modulación BPSK

Para el caso más simple de una señal binaria, el número de niveles  $M=2$ , la modulación recibe el nombre de BPSK (Binary Phase Shift Keying) y en su forma más

sencilla como se muestra en la figura 2.3.4 la señal de datos al efectuarse la modulación desplaza la forma de onda portadora en uno de dos estados que son 0 o  $\pi$ .



**Figura 2.3.4.** Señal BPSK

La modulación PSK presenta un rendimiento superior que el resto de las modulaciones ya que requiere menos potencia transmitida para una probabilidad de error dada, pero tiene la desventaja de la necesidad de detección sincrónica porque la información está en la fase y los sistemas de recuperación de la portadora son más complejos [5]. La detección de estas señales se lleva a cabo con un detector con correlador y un circuito de decisión.

### 2.3.3.2 Modulación QPSK y MPSK

La modulación multinivel permite manejar altas razones de datos dentro de restricciones de ancho de banda fijas [5], un ejemplo de este tipo de modulación es la MPSK, en este caso se utiliza el conjunto de M señales derivado de la siguiente ecuación.

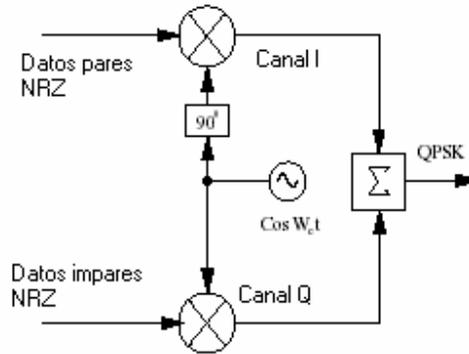
$$s_i(t) = A \cos(w_o t + \phi_i(t))$$

$$\phi_i(t) = \frac{2\pi(i-1)}{M} \tag{2.4}$$

$$i = 1, 2, \dots, M$$

Comparada con la modulación BPSK el uso de MPSK requiere de equipo más complejo y por ende más costoso para la generación y detección de señales incluyendo el de recuperación de la portadora.

Para el caso particular en que  $M=4$  se tiene la modulación QPSK. En esta modulación durante cada intervalo de símbolo se transmite una de cuatro posibles ondas de señal con corrimientos de fase de  $0^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $180^\circ$  y  $270^\circ$  y la detección comprende dos receptores BPSK o correladores en paralelo uno para cada portadora en cuadratura ya que la señal QPSK puede verse como la suma de dos señales BPSK. A continuación se muestra en la figura 2.3.5 un ejemplo de modulador QPSK en su forma más simple.



**Figura 2.3.5** Modulador QPSK.

La modulación QPSK debe mantener una envolvente constante dejando que la información sea conducida por la fase, para reducir las fluctuaciones de la envolvente algunos sistemas utilizan un retraso de un bit ( $T_b$ ) en la corriente de datos de cuadratura antes de la modulación, con ese retraso las transiciones de fase en los mezcladores de frecuencia se separan por  $T_b = T/2$  segundos, a esos sistemas se les conoce como QPSK de conmutación compensada (OQPSK)

### 2.3.3.3 Modulación DPSK (Diferencial Phase Shift Keying).

En PSK, el receptor utiliza una señal de referencia y la compara con la señal entrante en un esquema de detección coherente para reconstruir los datos. La generación de esta señal de referencia representa un problema en el receptor dado que tiene que mantenerse sincronizado con el transmisor continuamente.

Para evitar este problema de sincronización se utiliza una modificación del PSK conocida como DPSK, el cual codifica diferencialmente los datos usando las diferencias entre fases en dos intervalos sucesivos de bits. Del mensaje binario de entrada en el transmisor  $m(k)$ , se genera una secuencia binaria diferencial  $c(k)$  que tiene un dígito adicional de comienzo arbitrario, los dígitos sucesivos del código diferencial se determinan con la ecuación 2.5 ó 2.6.

$$c(k) = c(k-1) \oplus m(k) \quad (2.5)$$

$$c(k) = \overline{c(k-1) \oplus m(k)} \quad (2.6)$$

donde:  $\oplus$  representa la operación OR exclusiva.  
 $\overline{\quad}$  Representa el complemento (operación NOT).

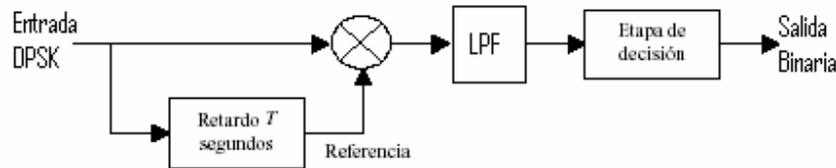
Utilizando la ecuación 2.6 se presenta el siguiente ejemplo:

Bit $k$ :	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Mensaje binario de entrada, $m(k)$ :	0	1	1	0	0	1	0	1	0	0	

Mensaje codificado diferencialmente,  $c(k)$ : 1 0 0 0 1 0 0 1 1 0 1  
 Asignación del desplazamiento de fase:  $\pi$  0 0 0  $\pi$  0 0  $\pi$   $\pi$  0  $\pi$

En el ultimo renglón se transforma la secuencia de bits codificados,  $c(k)$  en una secuencia de desplazamientos de fase en donde para este ejemplo un 1 se caracteriza con un desplazamiento de fase de  $180^\circ$  y un 0 con un desplazamiento de fase de  $0^\circ$ . Podemos ver que si las fases son iguales (1 y 1 ó 0 y 0), ocurre una salida positiva ( $180^\circ$ ); si difieren (0 y 1 ó 1 y 0), la salida es negativa ( $0^\circ$ ).

Con DPSK la fase de la portadora de la forma de onda en el intervalo previo puede ser usada como referencia para la demodulación, de esta forma, la señal de referencia es una versión retardada de la señal recibida. La figura 2.3.6 muestra el esquema de detección binaria DPSK en diagrama de bloques.



**Figura 2.3.6.** Detección DPSK.

### 2.3.4 Modulación MSK (Minimum Shift Keying)

La modulación MSK puede ser vista como un caso especial de FSK o bien como una modulación derivada de OQPSK al reemplazar el pulso rectangular por un pulso senoidal de medio ciclo. La señal MSK es definida como:

$$S(t) = d_I(t) \cos(\pi t/2T) \cos(2\pi f_c t) + d_Q(t) \sin(\pi t/2T) \sin(2\pi f_c t) \quad (2.7)$$

Donde:

- $d_I(t)$  = Representa los bits pares de la señal de entrada digital
- $d_Q(t)$  = Representa los bits noes de las señal de entrada digital
- $T$  = Duración de bit de la señal de entrada digital.
- $f_c$  = Frecuencia de portadora

Cabe mencionar que los bits de las señales  $d_I(t)$  y  $d_Q(t)$  tienen el doble de duración ( $2T$ ) de los bits de la señal digital de entrada original.

La modulación MSK hace el cambio de fase lineal y lo limita a  $\pm(\pi/2)$  sobre un bit de intervalo  $T$ . Lo anterior provee una ventaja significativa sobre QPSK, porque del efecto del cambio de fase lineal, la densidad de potencia espectral tiene lóbulos laterales pequeños que ayudan al control de la interferencia con el canal adyacente. Sin embargo el lóbulo principal llega a ser mucho más ancho que en QPSK.

### 2.3.4.1 Modulación GMSK (Gaussian Minimum Shift Keying )

GMSK es una técnica de modulación derivada de MSK. La señal binaria, previo a la modulación se filtra mediante un filtro gaussiano, lo que conlleva a que los lóbulos laterales del espectro de la señal MSK se reduzcan gracias a que todos los datos son pasados primeramente por este filtro, de tal modo que el ancho de banda resultante (componentes significantes) en GMSK se reduce, siendo menor al necesitado por MSK.

La relación entre el ancho de banda del filtro gaussiano (B) y la duración del bit (T) define el ancho de banda del sistema. En GSM el ancho de banda del sistema usado es de  $BT=0.3$  para un canal con una velocidad de 270.8 kbs.

Existen dos formas para generar GMSK, una es con modulación FSK y la otra es a partir de QPSK.

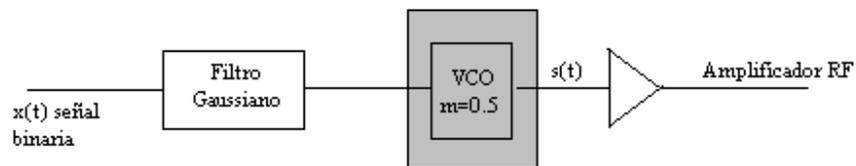


Figura 2.3.7. GMSK implementada por modulación FSK con FM-VCO

El método representado en la figura 2.3.7 requiere que el factor de desviación de frecuencia (índice de modulación) del VCO (oscilador controlado por voltaje) sea exactamente igual a 0.5, sin embargo el índice de modulación convencional de un VCO varía con el tiempo y la temperatura, por lo que este método no es muy confiable. El segundo método para generar GMSK hace uso de la modulación QPSK, con esta implementación (véase figura 2.3.8) se asegura que el índice de modulación se mantenga en 0.5, además de ser mucho más barato para implementar:

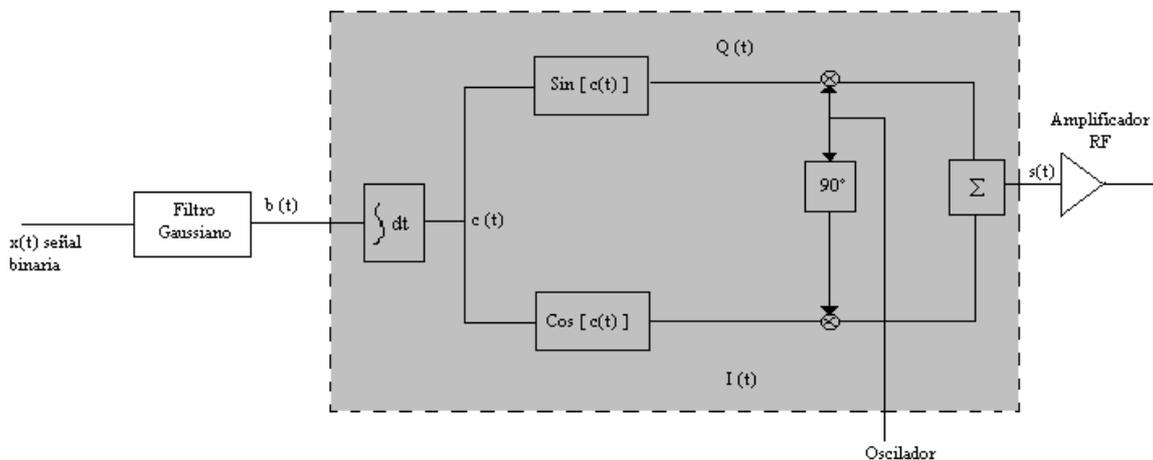


Figura 2.3.8. GMSK implementado por modulación QPSK

De la figura 2.3.8:

$$S(t) = \text{Sin} (2\pi f_c t) I(t) + \text{Cos} (2\pi f_c t) Q(t) \quad (2.8)$$

donde  $f_c$  es la frecuencia de la portadora usada en el oscilador.

Cabe señalar que tanto el primero como el segundo método proporcionan la misma señal modulada GMSK.

## 2.4 Sistemas de Telefonía Celular de Segunda Generación

La primera generación se caracterizó por ser analógica y estrictamente para voz, se tenía una baja calidad en los enlaces y una baja capacidad al manejar un número limitado de usuarios en el espectro asignado para comunicaciones celulares utilizando FDMA. Entre los estándares que se implementaron están: NMT (Nordic Mobile Telephone), AMPS (Advanced Mobile Phone Service) y TACS (Total Access Communications System).

El cambio de los sistemas de telefonía inalámbrica de primera generación (1G) a los de segunda generación (2G) se produjo como una respuesta a la saturación del espectro reservado para comunicaciones celulares (banda de 800 MHz en Norteamérica) debido a la gran aceptación que tuvo la tecnología inalámbrica.

Para hacer más eficiente el uso del espectro y dar servicio a un mayor número de usuarios se necesitó desarrollar protocolos de codificación más sofisticados, otras formas de acceso múltiple al canal (TDMA y CDMA) y transformar los sistemas analógicos utilizados en la 1G a digitales para la 2G. Con esto, en la segunda generación se pueden manejar comunicaciones de datos aunque con velocidades limitadas permitiendo ofrecer servicios auxiliares tales como datos, fax y SMS (Short Message Service – mensajes cortos-).

El cambio de la tecnología inalámbrica de segunda generación (2G) a la tercera generación (3G) no se dará como respuesta a la saturación del espectro radioeléctrico, sino con la finalidad de ofrecer nuevos servicios de telecomunicaciones a los usuarios, de esta forma, en la tercera generación se tendrán aplicaciones multimedia y altas transmisiones de datos.

Las tecnologías predominantes de segunda generación son; *GSM*, *IS 136*, *IS 95* y *PDC*.

### **2.4.1 GSM Sistema Global de Comunicaciones Móviles (Global System for Mobile Communications)**

En los primeros años de la década de los '80 los sistemas existentes eran analógicos y habían empezado a tener limitaciones, la demanda potencial para los servicios móviles era mayor que la capacidad de las redes analógicas existentes. La situación que se vivía en Europa hacía ver que se necesitaba crear un sistema único y que sirviese de estándar para los países europeos pues los diferentes sistemas existentes no ofrecían compatibilidad para sus usuarios dado que cada país había desarrollado su propio sistema, de esta forma un terminal TACS no podía acceder a una red NMT ni viceversa y la operatividad del terminal acababa donde acababa los límites de cada país.

En 1982, el CEPT (Conference of European Post and Telecommunications) creó el denominado "Group Special Mobile" o GSM para solucionar estos problemas, su labor consistía en especificar un sistema único de telecomunicaciones para Europa. En 1989 todas las responsabilidades que había tenido el CEPT se traspasan al ETSI (European Telecommunications Standards Institute) quien habría de regular desde este momento todos los aspectos de las comunicaciones a través de GSM. En 1991 aparecen los primeros sistemas comerciales basados en esta nueva red.

GSM ahora se le conoce como el Sistema Global para Comunicaciones Móviles (Global System for Mobile Communications) y es un estándar que ya no es utilizado solamente en Europa sino en muchos países en el mundo convirtiéndose en el sistema con mayor número de usuarios.

Además de la Telefonía, con GSM se permite: desvío de llamadas, llamada en espera, agenda electrónica, multiconferencia, transmisión de datos, buzón de voz, restricción de llamadas, mensajes cortos (SMS), indicación coste de llamada e identificación/ocultación de identidad entre otros y presenta ventajas como: capacidad de seguimiento automática (roaming internacional); curso de una gran cantidad de tráfico (óptima utilización del espectro) y mejoras en seguridad y consumo.

#### **Principios Operativos.**

GSM se implementa en la banda de 900 MHz (GSM900). Existen otros sistemas basados en tecnología GSM, como son DCS1800 y PCS1900 (actualmente denominados GSM1800 y GSM1900) que se implementan en las bandas de 1800 y 1900 MHz respectivamente.

La interfaz radio del GSM utiliza TDMA sobre la estructura de FDMA. Con FDMA divide la banda asignada en distintos canales de radiofrecuencia de 200 KHz, por ejemplo, para la banda de 900 MHz hay un total de 125 canales de radiofrecuencia (portadoras) de 200 KHz cada uno de las cuales realmente están disponibles 124 debido a que el primer canal se utiliza generalmente para comunicar GSM con servicios de baja frecuencia.

Independientemente de la banda que se emplee, posteriormente cada portadora se divide en 8 ranuras de tiempo empleando TDMA cada una de las cuales tiene una duración de 577  $\mu$ s, así toda la trama completa dura 4.615 ms. La trama completa emplea 1250 bits tanto de control como de información de usuario por lo tanto la portadora tiene una tasa de transmisión de 270.8 kbps  $\left[ \left( 1250 \frac{\text{bits}}{\text{trama}} \right) \left( \frac{1}{4.615} \frac{\text{trama}}{\text{ms}} \right) \right]$ .

Los datos se transmiten en ráfagas, básicamente existen 4 tipos de ráfagas: de acceso; de sincronización; de corrección de frecuencia y de información de usuario (como la voz y datos), cada una se utiliza según lo que determine la estación móvil y la estación base para lograr efectuar la comunicación, estrictamente cada usuario tendría una tasa de transmisión de 33.857 kbps dado que cada ranura o “time slot” emplea 156.25 bits de los 1250 bits de la trama para transmitir su información tanto de control como de usuario independientemente del tipo de ráfaga de que se trate, sin embargo considerando solo la ráfaga del tipo de información de usuario (dado que es la que contiene la información de voz y datos), solo 116 bits son para voz o datos, bajo este esquema, la velocidad efectiva por usuario cambia a 23.2 kbps cuando se maneja una velocidad completa o a 11.8 kbps cuando se maneja una velocidad media. Estas 2 velocidades son las que se manejan en GSM debido a la agrupación que tienen las tramas en multitramas, supertramas e hipertramas, organizándose así el envío de información por el aire. Cuando se maneja velocidad completa, 24 de las 26 tramas que conforman la multitrama son para transmisión de datos de usuario, para la velocidad media 24 de las 51 tramas son para información de usuario. Esta jerarquía de tramas y el modo en que las multitramas se componen para el caso de la velocidad completa y la velocidad media se muestra en la figura 2.4.1:

$$\text{Velocidad completa: } \left( 116 \frac{\text{bits}}{\text{trama}} \right) \left( \frac{1}{4.615} \frac{\text{trama}}{\text{ms}} \right) \left( \frac{24}{26} \right) = 23.2 \text{ kbps}$$

$$\text{Velocidad media: } \left( 116 \frac{\text{bits}}{\text{trama}} \right) \left( \frac{1}{4.615} \frac{\text{trama}}{\text{ms}} \right) \left( \frac{24}{51} \right) = 11.8 \text{ kbps}$$

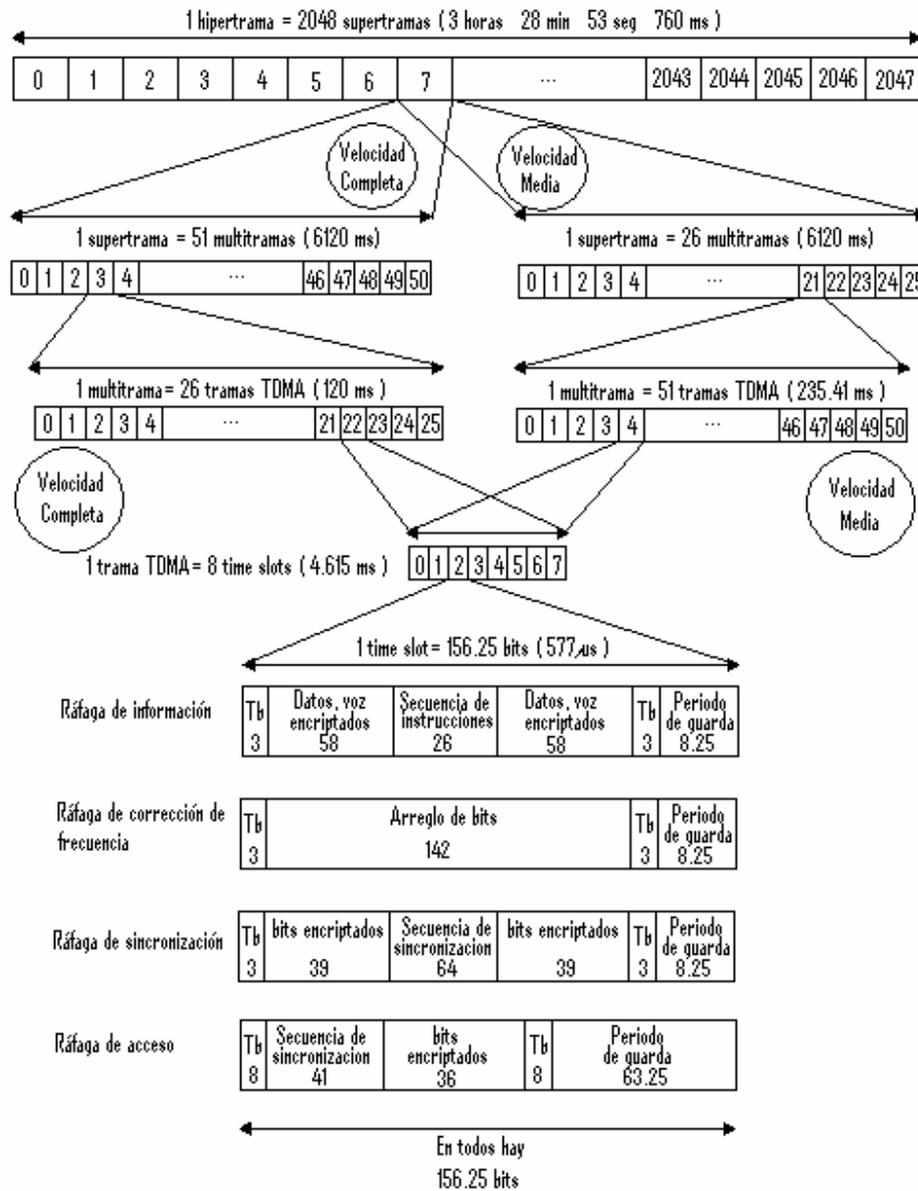
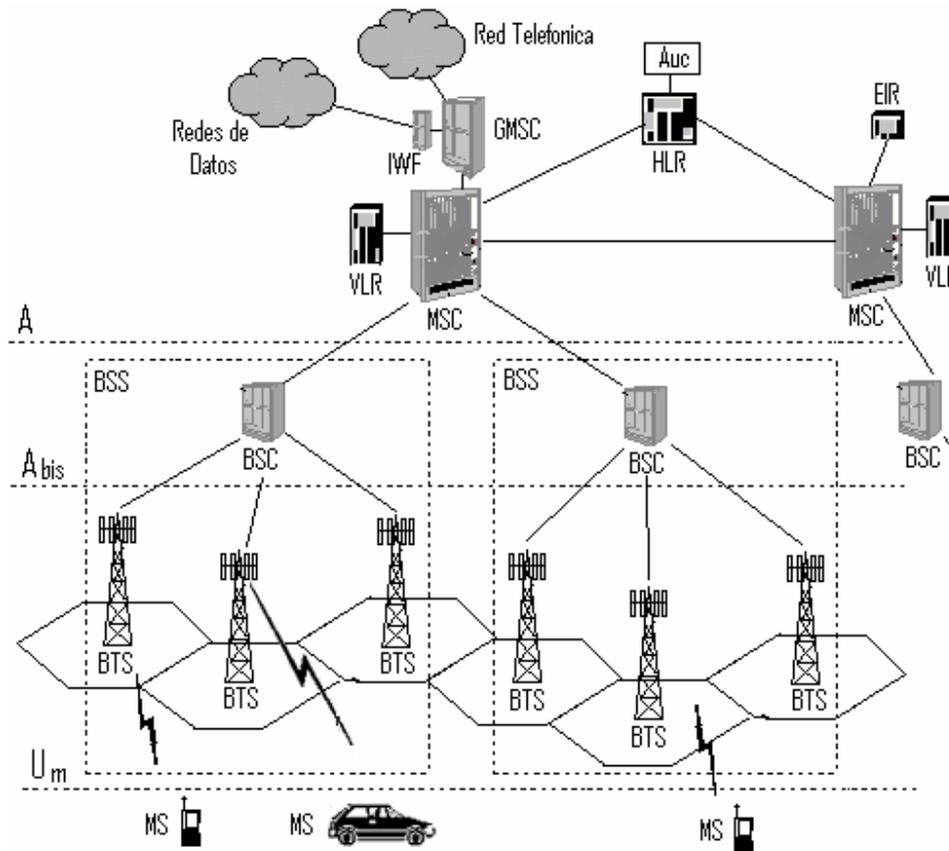


Figura 2.4.1. Jerarquía de tramas

La arquitectura GSM puede verse como la descripción de un modelo de red que sirve como plantilla para su implementación y consta básicamente de 4 elementos:



**Figura 2.4.2.** Arquitectura GSM

**1.-La Estación Móvil (MS, Mobile Station):** Representa el único elemento del sistema que el usuario llega a ver y consta a su vez de dos elementos básicos: el terminal o equipo móvil (ME, Mobile Equipment) y el módulo de identidad de usuario (SIM, Subscriber Identity Module). La interfaz entre la SIM y el equipo móvil se denomina sencillamente interfaz SIM-ME.

- ✓ El Equipo móvil se encarga de las funciones básicas de radio y de proceso necesarias para acceder a la red a través de la interfaz radio. Además debe ofrecer una interfaz al usuario (como micrófono, altavoz, pantalla y teclado) y una interfaz a otros equipos (como una interfaz hacia una PC o hacia un fax). Básicamente, el equipo móvil cuenta con todos los elementos para la transmisión y recepción, además cuenta con un número de identidad internacional de equipo móvil (IMEI, International Mobile Equipment Identity) que lo identifica y que sirve por ejemplo para inutilizarlo cuando se ha reportado que el equipo móvil es robado.
- ✓ El SIM es una pequeña tarjeta inteligente que contiene toda la información referente al usuario permitiéndole acceder a todos los servicios disponibles que haya contratado con su operador. Esta tarjeta es extraíble lo que le proporciona movilidad al usuario ya que puede cambiar de terminal y así, el usuario puede

comprar un equipo móvil, pero también lo puede alquilar o pedir prestado por un periodo de tiempo determinado, y cambiarlo cuando desee sin necesidad de procesos administrativos. Todo lo que necesita es su propia SIM cuya personalización puede realizarse fácilmente a través de un pequeño ordenador y un sencillo adaptador. Este proceso no es tan sencillo con otros sistemas celulares pues la personalización de cada estación móvil requiere una intervención nada sencilla, que sólo se realiza a través de especialistas técnicos y si alguna estación móvil falla, es difícil dotar al usuario de otra que la remplace durante el periodo de reparación, y casi imposible permitir que el usuario mantuviera su mismo número de teléfono durante este periodo. La tarjeta SIM cuenta con un número de identidad internacional de suscriptor móvil (IMSI, International Mobile Subscriber Identity) y un número de identificación personal (PIN) que al introducirse en el terminal, éste va a ponerse a buscar redes GSM que estén disponibles y va a tratar de validarse en ellas y una vez que la red ha validado nuestro terminal el teléfono queda registrado en la célula que lo ha validado.

**2.-El Subsistema Radio (RSS, Radio Subsystem):** Este subsistema se encarga de proporcionar y gestionar la interfaz radio entre las estaciones móviles y el resto de la red GSM. Utiliza dos elementos: las Estaciones Base (BTS, Base Transceiver Station) y los Controladores de Estaciones Base (BSC, Base Station Controller). A la agrupación de un BSC con sus correspondientes BTSs se le conoce como Subsistema de Estaciones Base (BSS, Base Station Subsystem).

- ✓ Las estaciones base (BTS) están en contacto con las estaciones móviles a través de la interfaz de radio  $U_m$  y su función principal es proporcionar un número de radio canales a la célula o células que le da servicio. Una BTS consta de equipos de transmisión y recepción incluyendo las antenas que pueden ser omnidireccionales para formar una célula o sectoriales para formar varias células (generalmente 3) y cuya potencia de transmisión determina el tamaño de la célula. Además realiza el procesado de señal necesario para la interfaz de radio.
- ✓ Los Controladores de Estaciones base (BSC) tienen la función de mantener la llamada sin que se produzcan interrupciones, para ello el BSC se encarga de realizar el handover cuando la estación móvil cambia de celda y de adaptar la velocidad del enlace de radio para que la llamada no se pierda. También controla la potencia de las estaciones base y de las estaciones móviles para minimizar la interferencia. Una BSC controla a un determinado grupo de BTS por medio de la interfaz  $A_{bis}$  y un determinado grupo de BSC es controlado por un MSC por medio de la interfaz A.

**3.-El Subsistema de Red y Conmutación (NSS, Network and Switching Subsystem):** Su función principal es gestionar las comunicaciones entre los usuarios GSM y los usuarios de otras redes de telecomunicación.

El componente central y quien realiza la función básica de conmutación es el Centro de Conmutación Móvil o central de conmutación (MSC, Mobile Services Switching Center), el cual coordina el establecimiento, enrutamiento y terminación de cualquier

Llamada desde y hacia los usuarios GSM, además controla otros servicios suplementarios, el handover entre MSCs y reúne la información necesaria para tarificación. La MSC tiene la interfaz A para comunicarse con los BSC a su cargo (comunicarse con usuarios GSM) y para las redes externas realiza la conexión a través del GMSC ( Gateway MSC) el cual hace que los protocolos de comunicaciones que existen en ambas redes se entiendan. La interfaz con redes externas requiere del elemento de adaptación IWF (Interworking Functions) para conectar la red GSM a las redes de datos.

El MSC debe conocer en todo momento la posición del móvil y para ello se apoya en el Registro usuarios locales (HLR, Home Location Register) y en el Registro de usuarios visitantes (VLR, Visitor Location Register).

El HLR es una base de datos que puede ser única para la red o dividida según el tamaño y contiene dos tipos de información de los usuarios registrados en la red GSM: información de suscripción del abonado móvil tal como el IMSI, el MSISDN (Mobile Station International ISDN Number) que es el número ISDN (Integrated Services Digital Network) del abonado móvil el que hay que marcar para conectarse con él, clave de autenticación, restricciones, características del equipo y servicios contratados; e información de localización del abonado móvil que permite encaminar las llamadas digitales al móvil indicando el camino que debe seguir la llamada.

El VLR lleva un registro de los móviles que en el momento están en el área de influencia del MSC al que esta asociado y existe un VLR en cada MSC. La información del VLR es de dos tipos: Los datos permanentes copiados del HLR (para no tener que estar consultando constantemente al HLR) y los datos temporales que pueden estar o no en el HLR.

Cuando una estación móvil ubicada en la zona de influencia de un MSC decide que el área de localización debe cambiar a otra zona controlada por otro MSC que le sirva mejor, entonces, la estación móvil notifica a la VLR del MSC a la que pertenece la nueva célula y este a su vez notifica al HLR sobre este visitante, así el VLR del nuevo MSC obtiene información de la estación móvil visitante en el HLR.

**4.-El Subsistema de Soporte y Operación (OSS, Operation and Support Subsystem):** Este subsistema se conecta con diferentes elementos del NSS y a los BSC para controlar y monitorizar toda la red GSM. El OSS cuenta con un centro de autenticación (Au, Authentication Center) quien proporciona los parámetros para autenticar a un usuario de la red por lo que va asociado con el HLR, soporta funciones de encriptación para proteger la identidad del usuario. El OSS cuenta también con una base de datos de los equipos móviles llamado Registro de Identidad de Equipo (EIR, Equipment Identity Register) que contiene datos como el número de serie, fabricante y homologación. En el EIR existe un listado con los equipos no problemáticos y los equipos a los que no se les debe permitir el acceso por ser robados o no estar homologados entre otras cosas.

### 2.4.2 IS 136 TDMA.

El estándar IS 136 TDMA conocido también como TIA/EIA-136 o ANSI-136 es una tecnología de segunda generación que se desarrolló a partir del estándar IS 54 o D-AMPS (versión digital del AMPS) el cual fue introducido en 1988-89 por la TIA/CTIA (Asociación de Industrias de Telecomunicaciones / Asociación de Industrias de Telecomunicaciones Celulares). El estándar IS 54 establecía la estructura de las ranuras de tiempo, tipo de modulación y formato de los mensajes necesarios para el diseño de los primeros teléfonos celulares TDMA. Al estándar IS 54 le siguieron las versiones: IS 54A que agregó características como el identificador de llamadas; y la IS 54B que incluyó la autenticación y privacidad en la conversación de voz. El estándar IS 54B fue suplantado en 1994 por el estándar IS 136 seguido por las revisiones IS 136A e IS 136B en las que se agregaron más características como; servicios de mensajes cortos (SMS); grupo cerrado de usuarios, estructuras jerárquicas de red, etc.

#### Principios Operativos

El estándar IS 136 puede implementarse en la banda de 800 MHz (Banda Celular) o en la banda de 1900 MHz ( Banda PCS -Personal Communications Services-), opera dividiendo la banda asignada en canales de radiofrecuencia (portadoras) de 30 KHz, cada uno de los cuales se dividen en 6 ranuras de tiempo utilizando TDMA, cada ranura de tiempo cuenta con 324 bits de los cuales solo 260 bits son para datos, los demás están relacionados con información de control. La trama completa esta compuesta por las 6 ranuras de tiempo contenidas en los 30 KHz, la duración de esta trama es de 40 ms por lo que la tasa de transmisión de la trama o lo que es igual la tasa de transmisión de la portadora es de 48.6 Kbps  $\left( \left( 324 \frac{\text{bits}}{\text{ranura}} \right) \left( 6 \frac{\text{ranuras}}{\text{trama}} \right) \left( \frac{1 \text{ trama}}{40 \text{ ms}} \right) \right)$ .

En el sistema IS 136 existen 2 tipos de velocidades: velocidad media y velocidad completa. En la *velocidad media* se usa 1 ranura de tiempo por cada usuario (6 usuarios por trama) por lo que la tasa de transmisión por usuario dado que cada ranura cuenta con 324 bits es de 8.1 Kbps aunque la velocidad efectiva por usuario dado que solo 260 de los 324 bits son para datos es de 6.5 Kbps. En la *velocidad completa* se usan 2 ranuras de tiempo por cada usuario (3 usuarios por trama) por lo que la tasa de transmisión por usuario dado que ahora son 648 bits por cada uno es de 16.2 Kbps y debido a que solo 520 bits son para datos la velocidad efectiva por usuario es de 13 Kbps.

### 2.4.3 IS 95 CDMA.

El estándar IS 95 CDMA fue normalizado por la Asociación de Industrias de Telecomunicaciones (TIA, Telecommunications Industry Association) en julio de 1993. Esta primera versión se conoció con el nombre de IS 95A al cual le siguió la revisión IS 95B que incluye varios mejoramientos. IS 95 CDMA se conoce también como cdmaOne bajo una marca registrada de Qualcomm, creador de esta tecnología.

## Principios Operativos.

Los sistemas IS 95 CDMA operan en la banda de 800 MHz y 1900 MHz dividiendo el espectro asignado en portadoras de 1.25 MHz. CDMA “divide” virtualmente la portadora de 1.25 MHz en canales de tráfico utilizando un código digital para cada usuario, este código solo lo conoce el transmisor y receptor involucrados en cada llamada, siendo los únicos que pueden codificar y decodificar respectivamente la señal apropiada. Con alrededor de 4.4 trillones de códigos se elimina la clonación de dispositivos y se hace muy difícil capturar y descifrar una señal.

CDMA se fundamenta en la técnica de espectro disperso (Spread Spectrum), esta técnica esparce el espectro de frecuencias de una señal en un ancho de banda mayor que el mínimo necesario para la transmisión, es decir, las frecuencias que componen una señal (como la voz) viajan esparcidas a lo largo de toda la transmisión sobre un espectro de frecuencias amplio (portadora de 1.25 MHz) con lo cual se logra “camuflar” la señal. El receptor utiliza el mismo código que el transmisor pero en forma invertida para des-extendir y reconstruir la señal original quedando los otros códigos extendidos y distinguibles del ruido de fondo. De esta forma, se pueden obtener muchas transmisiones utilizando la misma banda de frecuencias simultáneamente sin que se produzcan interferencias.

“Spread Spectrum” tiene dos modalidades: Salto de frecuencia (FH, Frequency Hopping) y Secuencia Directa (DS, Direct Sequence). Mediante el salto de frecuencia, la señal se esparce transmitiendo una ráfaga corta en una frecuencia, enseguida se salta a otra frecuencia y se emite otra ráfaga corta y así sucesivamente. La técnica de espectro disperso de secuencia directa (DS-SS) es la que utiliza el estándar IS 95 CDMA para lograr esparcir la señal y utiliza una secuencia de códigos de alta velocidad (códigos de esparcimiento) conjuntamente con la información básica que se desea transmitir, esta secuencia se utiliza directamente para modular la portadora de radiofrecuencia. En este esquema de secuencia directa, cada símbolo (grupo de bits) se multiplica por el código de esparcimiento (también llamado secuencia de chip) de forma que la banda de frecuencias de la señal se aumenta, ésta es la señal esparcida. La razón entre el número de chip por bits se conoce como la relación de “spreading” o factor de esparcimiento y es un factor de gran importancia para evaluar la resistencia de la señal ante interferencias.

La velocidad máxima efectiva del canal básico de usuario es de  $9.6 \text{ kbps}$  utilizando una velocidad de la secuencia del chip (tasa de chip) de  $1.2288 \text{ Mchip/s}$  (con un factor de esparcimiento de 128).

### 2.4.4 PDC Comunicaciones Digitales Personales (Personal Digital Cellular).

PDC (Personal Digital Cellular) es un estándar digital utilizado exclusivamente en Japón donde fue introducido en 1994 y desarrollado por la compañía NTT DoCoMo.

**Principios Operativos.**

PDC está basado en TDMA y opera en las bandas de 800MHz y 1400MHz dividiendo estas bandas en canales de radiofrecuencia o portadoras de 25 KHz y por TDMA se divide cada canal de 25 KHz en 3 ranuras de tiempo, cada una con una duración de 6.7 ms por lo que la trama completa tiene una duración de 20ms. En cada trama se transportan 840 bits lo que representa una tasa de transmisión de la portadora de 42 Kbps  $\left( \left( 840 \frac{\text{bits}}{\text{trama}} \right) \left( \frac{1}{20} \frac{\text{trama}}{\text{ms}} \right) \right)$ .

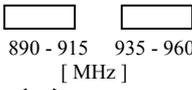
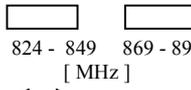
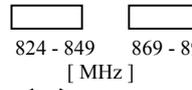
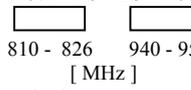
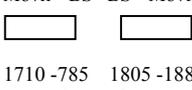
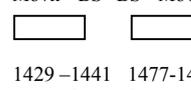
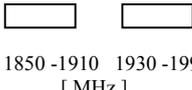
En cada ranura de tiempo se emplean 280 bits para información de control y de usuario (voz y datos) por lo que la tasa de transmisión por usuario es de 14 kbps aunque la velocidad efectiva por usuario donde solo se transmite información de usuario (voz y datos) es de 11.2 kbps, los otros 2.8 kbps se ocupa para transmitir la información de control.

**2.4.5 Comparación entre tramas y Parámetros Técnicos**

	<b>GSM</b>	<b>IS-136</b>	<b>IS-95</b>	<b>PDC</b>
Duración de la trama completa	4.615 ms	40 ms	20 ms	20 ms
Duración de cada ranura de tiempo	577 $\mu$ s	6.67 ms	NA	6.7 ms
Tasa de transmisión de una trama completa	270.8 kbps	48.6 kbps	NA	42 kbps
Tasa de transmisión por cada ranura de tiempo	33.857 kbps	Vm 8.1 kbps Vc 16.2 kbps	NA	14 kbps
Número de bits por trama	1250	1944	NA	840
Número de bits por ranura de tiempo	156.25	324	NA	280
Número de bits de información de usuario por cada ranura	114	260	NA	224
Tasa de datos real de usuario	Vm 11.4 kbps Vc 22.8 kbps	Vm 6.5 kbps Vc 13 kbps	9.6 kbps	11.2 kbps

**Tabla 2.4.1.** Tabla comparativa de las tramas.

Donde: NA.- No Aplica.  
Vm.- Velocidad media.  
Vc.- Velocidad completa.

	<b>GSM</b>	<b>IS-136</b>	<b>IS-95</b>	<b>PDC</b>																										
Frecuencias de operación	<p><i>BANDA 900 MHz</i> Subida Móvil-&gt;BS    Bajada BS-&gt;Móvil                        890 - 915    935 - 960                      [ MHz ]                        25 MHz = Ancho de banda del sistema</p>	<p><i>BANDA 800 MHz</i> Subida Móvil-&gt;BS    Bajada BS-&gt;Móvil                        824 - 849    869 - 894                      [ MHz ]                        25 MHz = Ancho de banda del sistema</p>	<p><i>BANDA 800 MHz</i> Subida Móvil-&gt;BS    Bajada BS-&gt;Móvil                        824 - 849    869 - 894                      [ MHz ]                        25 MHz = Ancho de banda del sistema</p>	<p><i>BANDA 800 MHz</i> Subida Móvil-&gt;BS    Bajada BS-&gt;Móvil                        810 - 826    940 - 956                      [ MHz ]                        16 MHz = Ancho de banda del sistema</p>																										
	<p><i>BANDA 1800 MHz</i> Subida Móvil-&gt;BS    Bajada BS-&gt;Móvil                        1710 - 1785    1805 - 1880                      [ MHz ]                        75 MHz = Ancho de banda del sistema</p>	-----	-----	<p><i>BANDA 1400 MHz</i> Subida Móvil-&gt;BS    Bajada BS-&gt;Móvil                        1429 - 1441    1477 - 1489                      [ MHz ]                        12 MHz = Ancho de banda del sistema</p>																										
	<p><i>BANDA 1900 MHz</i> Subida Móvil-&gt;BS    Bajada BS-&gt;Móvil                        1850 - 1910    1930 - 1990                      [ MHz ]                        60 MHz = Ancho de banda del sistema</p>	<p><i>BANDA 1900 MHz</i> Subida Móvil-&gt;BS    Bajada BS-&gt;Móvil                        1850 - 1910    1930 - 1990                      [ MHz ]                        60 MHz = Ancho de banda del sistema</p>	<p><i>BANDA 1900 MHz</i> Subida Móvil-&gt;BS    Bajada BS-&gt;Móvil                        1850 - 1910    1930 - 1990                      [ MHz ]                        60 MHz = Ancho de banda del sistema</p>	-----																										
Método de Acceso	TDMA	TDMA	CDMA (DS-SS)	TDMA																										
Ancho de banda por canal de RF (portadora)	200 KHz	30 KHz	1.25 MHz	25 KHz																										
Total de canales de RF en la banda	<table border="1"> <tr><th>Banda</th><th># canales</th></tr> <tr><td>900</td><td>124</td></tr> <tr><td>1800</td><td>374</td></tr> <tr><td>1900</td><td>299</td></tr> </table>	Banda	# canales	900	124	1800	374	1900	299	<table border="1"> <tr><th>Banda</th><th># canales</th></tr> <tr><td>800</td><td>833</td></tr> <tr><td>1900</td><td>2000</td></tr> </table>	Banda	# canales	800	833	1900	2000	<table border="1"> <tr><th>Banda</th><th># canales</th></tr> <tr><td>800</td><td>20</td></tr> <tr><td>1900</td><td>48</td></tr> </table>	Banda	# canales	800	20	1900	48	<table border="1"> <tr><th>Banda</th><th># canales</th></tr> <tr><td>800</td><td>640</td></tr> <tr><td>1400</td><td>480</td></tr> </table>	Banda	# canales	800	640	1400	480
Banda	# canales																													
900	124																													
1800	374																													
1900	299																													
Banda	# canales																													
800	833																													
1900	2000																													
Banda	# canales																													
800	20																													
1900	48																													
Banda	# canales																													
800	640																													
1400	480																													
Número de usuarios por canal de RF o portadora	8	Velocidad Media----- 6 Velocidad Completa----- 3	Mínimo 20	3																										
Tipo de modulación	GMSK	$\pi/4$ DQPSK	QPSK en subida OQPSK en bajada	DQPSK																										
Codificación de voz	RPE-LPC	VSELP	QCELP	VSELP																										

**Tabla 2.4.2** Especificaciones técnicas de las tecnologías inalámbricas de 2G

## **2.5 Evolución y Migración a 3G (Tercera Generación)**

Dado que los sistemas de primera y segunda generación no fueron creados para funcionar a nivel mundial, sino a nivel nacional o regional, y debido a la incompatibilidad entre las tecnologías actuales (GSM, IS-136, IS-95 y PDC) se ha imposibilitado el deseado “roaming” internacional. Por otra parte, las comunicaciones móviles se encuentran en un punto de auge, donde la movilidad a escala internacional y la alta velocidad en datos que permitirían el acceso a Internet y a aplicaciones multimedia sobre terminales, han cobrado gran importancia.

Todo lo anterior dio origen a una nueva generación de comunicaciones móviles llamada “3G o Tercera Generación” que significa un salto enorme en cuanto a capacidad y servicios comparados con los sistemas actuales.

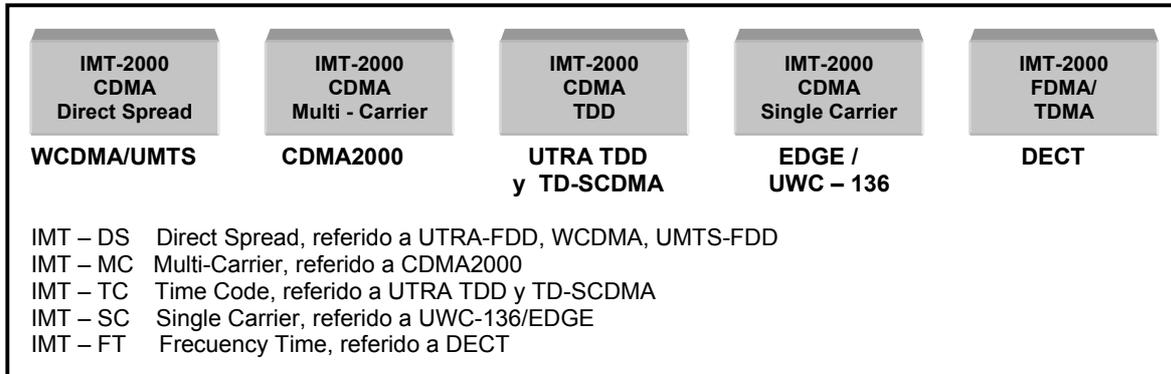
Los sistemas 3G estarán diseñados con las siguientes características para asegurar a los usuarios comunicaciones eficientes a alta velocidad y calidad:

- Transmisión simétrica/asimétrica de alta fiabilidad.
- Uso de ancho de banda dinámico, en función de la aplicación.
- Velocidades binarias mucho más altas: 144 kbit/s en alta movilidad, 384 kbit/s en espacios abiertos y 2 Mbit/s en baja movilidad.
- Soporte tanto de conmutación de paquetes (IP) como de circuitos.
- Soporte IP para acceso a Internet (navegación WWW), videojuegos, comercio electrónico, y vídeo y audio en tiempo real.
- Diferentes servicios simultáneos en una sola conexión.
- Calidad de voz como en la red fija.
- Soporte radioeléctrico flexible, con utilización más eficaz del espectro, con bandas de frecuencias comunes en todo el mundo.
- Personalización de los servicios, según perfil de usuario.
- Servicios dependientes de la posición (localización) del usuario.
- Incorporación gradual en coexistencia con los sistemas actuales de 2G.
- Itinerancia (roaming), incluido el internacional, entre diferentes operadores y tipos de redes.
- Ambientes de funcionamiento marítimo, terrestre y aeronáutico.
- Capacidad de terminales telecargables, multibanda y multientorno.

IMT-2000 (International Mobile Telecommunications – 2000) es un estándar de la UIT y define un conjunto de características esenciales para los sistemas de 3G. IMT-2000 tiene como objetivo la unificación de los diversos sistemas móviles de hoy a una infraestructura de Red y Radio capaz de ofrecer un amplio rango de servicios a escala global.

Las distintas interfaces de aire propuestas ante la Unión Internacional de Telecomunicaciones UIT (incluidas dentro de lo que la UIT denominó como RTT “Radio Transmission Technology”) están basadas en CDMA que se acompañan de tres modalidades de operación. Su introducción en los sistemas de 3G y la infraestructura de las tecnologías

actuales indujo en esencia a proponer dos sistemas de tercera generación: UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) y CDMA2000.



**Figura 2.5.1.** Interfaces de Radio Terrestres IMT-2000

La industria global de telecomunicaciones ha reducido en general el número de normas de tercera generación, respetando al mismo tiempo las normas existentes. Así, se han logrado dos hechos importantes: la convergencia de TDMA/136 y GSM, y la convergencia de modos CDMA. Este aspecto se está considerando sobre la base de que los sistemas previos a IMT-2000 pueden poseer ya algunas características y admitir desarrollos ulteriores que permitan su evolución y/o migración hacia IMT-2000.

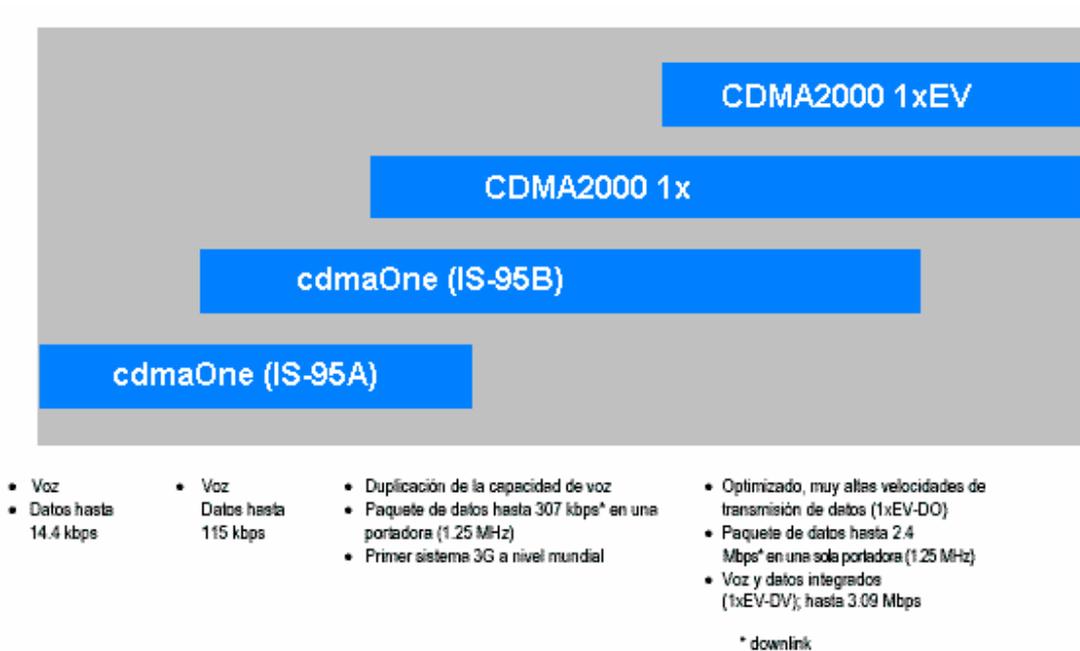
### 2.5.1 Evolución de CdmaOne™ (CDMA IS-95) a 3G

La transición de redes basadas en CdmaOne (IS-95A) de banda estrecha hacia IMT-2000 consiste en tres pasos migratorios: IS-95B, CDMA2000 1x, y CDMA2000 1xEV.

La norma IS-95B mejora la velocidad de datos hasta una tasa de 115 kbps, agregando y asignándole 8 canales de tráfico CDMA con 14.4 kbps a un móvil el tiempo que dure su operación. Esta norma es conveniente para acceso a Internet y aplicaciones que requieran velocidades medias, particularmente en áreas de bajo tráfico (suburbano/rural).

*CDMA2000 1x* también conocida como 1xRTT, CDMA2000-Fase I o IS-95C, introduce datos en paquetes a 144 kbps en un entorno móvil y a mayor velocidad en un entorno fijo (307 kbps). 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 serie de servicios avanzados de datos.

En *CDMA2000 1xEV* surgen dos nuevas etapas: *CDMA2000 1xEV-DO* y *CDMA2000 1xEV-DV*. 1xEV-DO (Data Only) es una transición optimizada a muy altas velocidades de datos, ofrece paquetes de datos hasta 2.4 Mbps en una sola portadora (1.25 MHz). 1xEV-DV (Data-Voice) integra voz y datos en una sola portadora y ofrece velocidades hasta 3.09 Mbps.



**Figura 2.5.2.** Evolución vía cdmaOne a IMT-2000

Los llamados servicios 3G estarán disponibles con cdmaOne tanto en las existentes como en las nuevas bandas de espectro. Este punto es importante a la hora de considerar la posición de aquellos operadores establecidos que no quieran, o no puedan, obtener nuevo espectro. Los esfuerzos del Grupo de Desarrollo CDMA (CDG) están enfocados en una estrategia evolutiva hasta alcanzar totalmente las capacidades de cdma2000 sin afectar las inversiones del operador de redes, ni las prestaciones demandadas por sus usuarios.

### 2.5.1.1 CDMA2000 y el espectro

CDMA2000 está diseñado para operar en todas las bandas de espectro atribuidas para los servicios de telecomunicaciones inalámbricos, incluyendo las bandas analógicas, celulares, de PCS y las de IMT-2000. CDMA2000 posibilita la prestación de servicios 3G haciendo uso de una cantidad muy pequeña de espectro (1.25 MHz por portadora), protegiendo de esta forma este recurso precioso para los operadores.

Estas bandas incluyen [22]:

- 450 MHz
- 700 MHz
- 800 MHz
- 900 MHz
- 1700 MHz
- 1800 MHz
- 1900 MHz
- 2100 MHz

## 2.5.2 Migración de GSM y TDMA IS-136 a 3G

La migración de GSM comienza con GPRS (General Packet Radio Service) que crea una arquitectura de la red común y comparte componentes de red de radio y terminales, por lo que su introducción en las redes resulta fácil y económica.

TDMA IS-136 tiene dos alternativas de migración: implementar GSM/GPRS o emplear un modelo totalmente diferente basado sobre CDMA2000 1x. Debido a la infraestructura de las redes TDMA, al gran mercado de GSM y por cuestiones económicas, la mayoría de las operadoras de IS-136 han adoptado el mismo camino migratorio de GSM.

Como objetivo final se tiene pensado llegar hacia UMTS pasando por HSCSD (High Speed Circuit-Switched Data), GPRS y EDGE (Enhanced Data-rates for GSM Evolution), que son consideradas como generación 2.5G y corresponde a mejoras tecnológicas en las redes GSM tendentes a entregar capacidades 3G.

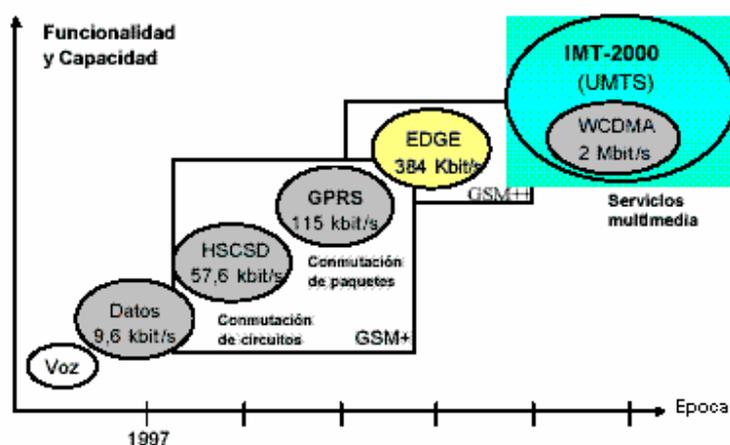


Figura 2.5.3. Migración desde GSM hacia IMT-2000

### 2.5.2.1 HSCSD (High Speed Circuit-Switched Data)

HSCSD aumenta la capacidad de transmisión de GSM y se basa en la agrupación de “time-slots”, específicamente 6 para slots de 9.6 kbps y 4 para slots de 14.4 kbps. Así, HSCSD puede transmitir hasta 57.6 kbps en modo conmutado. El número de “time-slots” utilizado puede ser variable dependiendo de la saturación de la celda donde se encuentre el móvil pero el ancho de banda no se utiliza eficientemente, pues se trata de conmutación por circuito. Aunque requiere pocas inversiones en red, no parece ser muy adecuado y su adopción no se está llevando a cabo, salvo en contadas ocasiones.

### 2.5.2.2 GPRS (General Packet Radio Service)

GPRS es un estándar de ETSI, que viene a complementar la tecnología GSM. El concepto principal que rige a GPRS y que lo diferencia de GSM es la orientación a la conmutación de paquetes frente a la conmutación de circuitos. La ventaja principal de la conmutación de paquetes es que el canal de transmisión solo se requiere cuando existe algo que transmitir o recibir. Esta transmisión se basa en dividir la información en pequeñas unidades llamadas paquetes, estos paquetes son divididos y enviados de forma secuencial a través de los canales disponibles, permitiendo que varios usuarios compartan los mismos canales. Todos los paquetes al llegar a su destino vuelven a unirse formando el fichero en cuestión.

#### Características y aplicaciones de GPRS

Las características principales de GPRS son diversas y en conjunto facilitan el acceso a servicios de datos desde dispositivos móviles. Estas características son:

- Compatibilidad con el sistema GSM (GSM/GPRS)
- Permite utilizar voz y datos a través del móvil.
- Puede alcanzar una velocidad de transferencia de datos máxima teórica de 171.2 Kbps.
- Permite al usuario estar siempre conectado “always on”
- Soporta aplicaciones más robustas que GSM
- Permite tarificación basada en volumen de datos transferidos.
- Soporta el protocolo IP, lo que proporciona velocidades de acceso a Internet e intranets y mejora la eficacia de la red.

Las características básicas de GPRS abren las posibilidades al desarrollo de aplicaciones mejores, más robustas y estandarizadas, que están en función de las limitaciones de GPRS. Entre las aplicaciones que se podrán contar con GPRS son:

- Aplicaciones WAP (Wireless Application Protocol)
- Acceso a correo electrónico corporativo
- Acceso a intranets
- Acceso a correo electrónico de Internet
- Acceso a servicios de información práctica y servicios de directorio.
- Servicios “banking” (transacciones bancarias)
- Comercio electrónico
- Acceso a servicios de Chat
- Servicios de localización.

#### Arquitectura GPRS

La arquitectura de red de GPRS básicamente está fundamentada en GSM. Los principales elementos que se introducen son:

- Nodos de soporte GPRS: El nodo de conmutación SGSN (Serving GPRS Support Node) y el de pasarela GGSN (Gateway GPRS Support Node) cuyas misiones son complementarias.
- Actualización de software a nivel de BTS.
- Nuevo hardware en el controlador de estación (BSC), llamado PCU (Packet Control Unit)

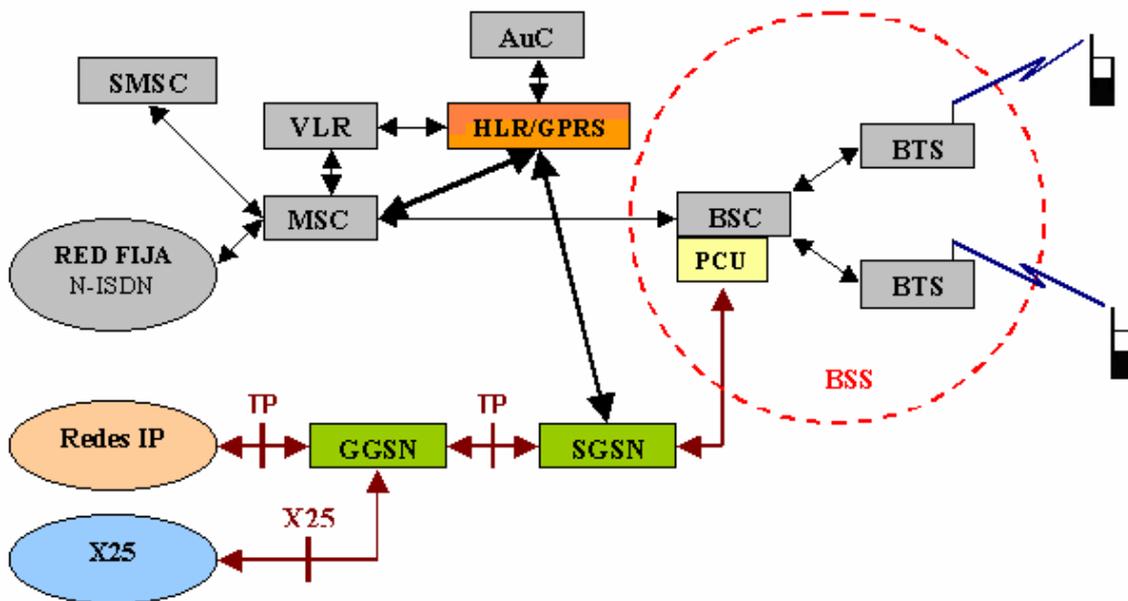


Figura 2.5.4. Arquitectura de red GSM/GPRS

**GGSN (Gateway GPRS Support Node):** Actúa como interfaz hacia las redes de paquetes de datos externas. Sus funciones son: traducir las direcciones IP en la dirección del móvil destino, traducir los paquetes que recibe desde el SGSN al formato de la red externa.

**SGSN (Serving GPRS Support Node):** Es responsable de la entrega de paquetes al terminal móvil en su área de servicio. Tiene asociado un Registro de Ubicación (Location Register) similar al VLR. Sus funciones principales son: la autenticación de usuarios, la gestión de la movilidad, el encaminamiento y transferencia de paquetes de datos.

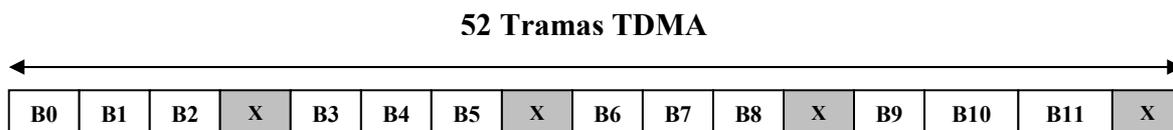
En cuanto a la función de tarificación, tanto el SGSN como el GGSN registran todos los aspectos posibles del comportamiento del usuario y generan información útil para el cobro de servicio

**PCU (Packet Control Unit):** Es encargada de manejar la comunicación de paquetes.

### Limitaciones de GPRS

Las limitaciones existentes en la red impiden que las velocidades máximas de GPRS puedan ser alcanzadas.

GPRS multiplexa cuatro time slots de cuatro tramas TDMA consecutivas. Al conjunto de los cuatro time slots se le llama “bloque de radio” (time slot de GPRS o multislot) y es la unidad básica de un canal de paquetes de datos PDCH (Packet Data Chanel).



**Figura 2.5.5.** PDCH

PDCH está compuesto por 52 tramas TDMA o 13 bloques de radio, que se dividen en 12 bloques de radio efectivos y una ráfaga 13 que no transmite nada. De los doce bloques de radio solo ocho pueden ser utilizados para usuario, ya que los restantes son ocupados por los demás canales lógicos.

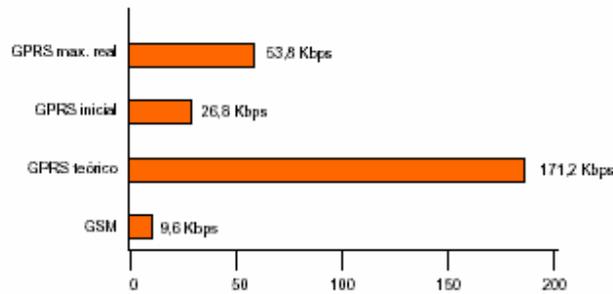
Las condiciones reales de calidad de señal de radio exigen cuatro modalidades o esquemas de codificación de datos en las especificaciones GPRS, que se diferencian en el nivel de chequeos de error necesarios. Los esquemas mayores, los más veloces, son los que realizan menos chequeos, por lo que solo pueden usarse en unas condiciones óptimas de calidad de señal, las cuales son casi inviables.

<b>CS-1</b>	9.05 Kbps
<b>CS-2</b>	13.4 Kbps
<b>CS-3</b>	15.6 Kbps
<b>CS-4</b>	21.4 Kbps

*Tasa de transmisión de datos variables por multislot*

En condiciones óptimas de calidad de señal, cada “multislot” (bloque de radio) proporcionaría 21.4 Kbps, con lo que los ocho “multislots” juntos sumarían aproximadamente 171.2 Kbps. Sin embargo, la realidad es que cada bloque de radio solo aporta 13.4 Kbps (CS-2), además de que los primeros GPRS soportan de 2 a 4 multislots de bajada y de uno a dos de subida, por lo que la velocidad real de transmisión de datos sería 13.4 Kbps x 4 = 53.6 Kbps. En forma práctica la velocidad de GPRS nunca será mayor de 56 Kbps.

Para conseguir la velocidad máxima de 171.2 Kbps una operadora debería destinar todos los recursos a una única llamada GPRS, pero es improbable que un operador de servicios permita que todos los canales de transmisión sean usados por un solo usuario.



**Figura 2.5.6.** Velocidades de transmisión GSM – GPRS

Además de la limitante anterior existen otras más como son:

- Posible congestión de la red.
- Capacidad de celda limitada: GPRS impacta en la capacidad de servicio de las celdas existentes.
- Retrasos en tránsito: Debido a que como los paquetes viajan por separado utilizando caminos diferentes puede llevar a que se pierdan o se dañen durante la transmisión de datos mediante el enlace de radio.

### Comparación entre GPRS y GSM-HSCSD

Las principales características distintivas entre GPRS y GSM-HSCSD se pueden ver en la tabla 2.5.1.

GPRS	GSM-HSCD
- Conexión típica puede durar horas	- Duración de la conexión sólo dura un par de horas (todo el tiempo se consume recursos de red)
- Transmisión de datos a ráfagas. - Enlaces ascendente y descendente independientes.	- Flujo continuo de datos en ambas direcciones.
- El usuario puede activar servicios de forma independiente. - El sistema GPRS soporta el principio de “conectividad específica por servicio”	- Todos los servicios son activados al encender la red.
- Tarificación basada en la cantidad de datos transmitidos y/o recibidos.	- Tarificación basada en el tiempo de ocupación del recurso.
- Cada paquete es tratado como una entidad independiente. - No se necesita acceder a las bases de datos (HLR) cada vez que se transmite un paquete.	- Cada vez que se activa una sesión se requiere el acceso a la base de datos HLR.
- Los paquetes transmitidos son cortos.	

**Tabla 2.5.1.** Comparación entre GSM y GPRS

### 2.5.2.3 EDGE (Enhanced Data Rates for Global Evolution)

EDGE (Enhanced Data Rates for Global Evolution) es un estándar aprobado por la ITU y respaldado por el ETSI asentado en el marco de la evolución 3G como un estándar de 2.5 G que va a permitir a los operadores GSM e IS-136 TDMA utilizar el espectro de radio existente.

Fue en 1997 cuando Ericsson propuso ante el ETSI como evolución del GSM, el sistema EDGE que permitirá ofrecer servicios de multimedia móvil basada en IP y aplicaciones a gran velocidad, soportando paquetes de datos a velocidades de *384 kbps* en condiciones de radio normales (movilidad media-caminando).

EDGE está diseñado para integrarse a las redes existentes de GSM, TDMA y GPRS lo que permite reducir los costos y realizar inversiones de bajo riesgo. Con EDGE se puede introducir en el espectro existente sin la necesidad de solicitar nuevas licencias ni de efectuar grandes reestructuraciones en la planificación de la red de radio. Emplea los mismos protocolos, estructura de canales y planificación de frecuencia que las redes actuales GSM y TDMA. GPRS y EDGE se van a desarrollar tanto en redes GSM como TDMA, pero los pasos a seguir para llevar a cabo esta migración tendrán que ser ligeramente distintos.

En la evolución TDMA, EDGE es conocido con el nombre de Universal Wireless Communications (UWC-136) ante el TIA/EIA-136.

El camino evolutivo GSM/GPRS/EDGE permite a EDGE triplicar la velocidad de GPRS (115 kbps) centrándose en la mejora de los servicios por paquetes GPRS utilizando eficientemente el espectro de radio existente. EDGE también puede emplearse para mejorar la cuota de bits de los canales de conmutación de circuitos HSCSD.

GPRS es una tecnología portadora de datos y como tal suele introducirse antes que EDGE, así, por medio de GPRS se implanta la red básica de datos por paquetes necesaria para prestar los servicios que EDGE ofrece.

EDGE se puede desplegar en las bandas de frecuencias 800, 900, 1800 y 1900 MHz, con canales de radiofrecuencia de 200KHz como en GSM y 8 slots TDMA en cada portadora. Utiliza modulación 8PSK, el cual produce 8 distintos cambios de fase para interpretar una cadena de 3 bits pero esto lo hace más susceptible al ruido que en los esquemas de 2G.

#### **2.5.2.4 UMTS Sistema Universal de Telecomunicaciones Móviles (Universal Mobile Telecommunications System)**

UMTS es el Sistema Universal de Telecomunicaciones Móviles seleccionado por la UIT como uno de los sistemas de la familia de IMT-2000 para la definición de los sistemas móviles de tercera generación (3G), comenzó a especificarse por el grupo ETSI TC SMG y posteriormente por el proyecto 3GPP. UMTS se definirá en fases, la fase 1 corresponde a la denominada “Release” 1999 (R'99) que ya ha concluido y la siguiente fase “Release” 2000 (R'00).

UMTS tendrá una diferencia sustancial con respecto a las tecnologías previas ofreciendo velocidades de datos de hasta 2 Mbits/s lo cual permitirá proporcionar una amplia gama de nuevos servicios multimedia móviles de alta calidad. Lo mencionado anteriormente se debe a que UMTS ofrece una nueva interfaz de radio denominada UTRA (UMTS Terrestrial Radio Access) la cual está basada en la tecnología W-CDMA (Wideband Code Division Multiple Access) que permite aumentar considerablemente la velocidad de transferencia de datos, y soporta dos modos de operación: el FDD (Frequency Division Duplex) basado en un esquema de Secuencia Directa CDMA que soporta una velocidad de hasta 384 Kbit/s y será el primero en introducirse y el TDD (Time Division Duplex) basado en la multiplexación en tiempo y en código que se ha diseñado y optimizado para ser usado en zonas con alta densidad de tráfico soportando una velocidad de hasta 2 Mbit/s.

La arquitectura de red UMTS plantea un cambio también; en la primera fase se ha definido una arquitectura que permite interactuar a redes de acceso GSM y la red de acceso UMTS (UTRAN). Se propone una red central (CN) que incluye un dominio con conmutación de circuitos (CS, Circuit Switched) y un dominio con conmutación de paquetes (PS, Packet Switched) y esta diseñada como una migración de la red GSM/GPRS. En la segunda fase de UMTS (R'00) se define una arquitectura basada en una red de transporte basada totalmente en IP que soportará tráfico de datos y de voz.

Respecto a los servicios en UMTS lo que se intenta definir es un marco en el que los servicios se puedan crear basados en las funcionalidades de las capacidades de servicio que serán estandarizadas y que consisten de portadoras definidas con parámetros de QoS y los mecanismos necesarios para realizar los servicios. Estas capacidades estandarizadas proporcionarán una plataforma que permitirá el desarrollo de una gran variedad de servicios que incluirán características multimedia, personalización, y altas velocidades de transmisión como se había mencionado antes inclusive de 2Mbit/s. También podrán ofrecerse servicios de Internet usando el protocolo WAP y se dispondrá de un acceso optimizado a redes externas IP. UMTS podrá garantizar además diferentes calidades de servicio (QoS) y proporcionará mecanismos que garanticen la continuidad de los servicios entre las redes de acceso GSM y UMTS.

### 2.5.3 Migración de PDC a 3G

PDC es la tecnología de segunda generación menos utilizada y es confinada al mercado japonés, es una tecnología desarrollada e instalada por NTT DoCoMo. Los servicios de 3G no estarán basados sobre PDC, en su lugar éste podría adoptar WCDMA con una infraestructura de red similar a UTRAN.

El lanzamiento del conjunto de servicios de “i-mode™” de NTT DoCoMo que se diseñó usando conmutación por paquetes y corriendo inicialmente sobre la red PDC, lograron un crecimiento espectacular e introdujeron cerca de 30 millones de clientes a los servicios de “Internet móvil”. La migración de los clientes de “i-mode™” a 3G empezó con la disponibilidad del primer servicio en el mundo de UMTS lanzado por NTT DoCoMo durante el 2001 bajo la marca de FOMA (Freedom of Mobile Multimedia Access), usando tecnología WCDMA (Wideband CDMA). [26]

## 2.6 Situación en México

El servicio de radiotelefonía móvil se clasifica principalmente en: Servicio de Telefonía Celular (800 MHz) y Servicio de Telefonía PCS (1900 MHz), donde en éste último se ha introducido la tecnología GSM. Tanto Celular como PCS ofrecen los mismos beneficios y servicios, la distinción más importante entre ellos es la frecuencia de operación.

El servicio de telefonía “Celular” en México se presta a través de la asignación de dos bandas de frecuencias: la banda A y la banda B.

Banda	Móvil [MHz]	Base [MHz]
A	824-835, 845-846.5	869-880, 890-891.5
B	835-845, 846.5-849	880-890, 891.5-894

**Tabla 2.6.1** Bandas de frecuencias para la prestación del servicio celular

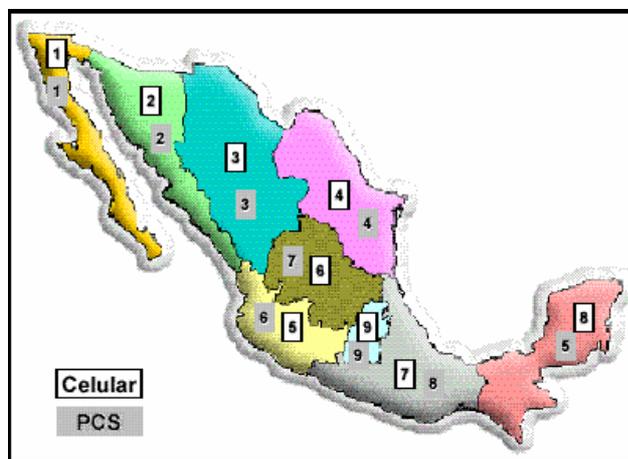
La banda B es usada exclusivamente por Telcel, la cual tiene cobertura nacional. La banda A es utilizada por el resto de las operadoras, estas empresas están asociadas mediante la Asociación Mexicana de Concesionarios de Radiotelefonía Celular, A.C., cuyo fin es establecer convenios entre éstas mismas como usuarias de la banda A, para su mejor aprovechamiento y uso.

La competencia actual para la prestación de los servicios de comunicación móvil cada vez es más grande, las empresas que brindan estos servicios en nuestro país son:

CELULAR			PCS	
Concesionaria	Banda	Tecnología Digital Utilizada	Concesionaria	Tecnología Digital Utilizada
Radiomóvil Dipsa (Telcel)			Radiomóvil Dipsa (Telcel)	GSM
Telefónica Móviles México (MoviStar)	Bajacel	A	Iusacell PCS (Grupo Iusacell)	CDMA
	Movitel	A	Servicios de Acceso Inalámbricos, SA de CV	CDMA
	Norcel	A	Telefónica Móviles México (MoviStar)	GSM
	Cedotel	A	Unefón	CDMA
Grupo Iusacell	Comcel	A		
	Sistemas Telefónicos Portátiles Celulares	A		
	Telegolfo	A		
	Portatel	A		
	SOS Telecomunicaciones	A		

**Tabla 2.6.2** Empresas en la banda de Celular y PCS

Para una mejor distribución de los recursos y prestación del servicio existe una división regional en México, que consta de 9 regiones para Celular y PCS, tal y como se observa en la figura 2.6.1



**Figura 2.6.1** División Regional en México

CELULAR		PCS		Estados que comprende la Región
Región	Concesionarios para la prestación del servicio en la Región	Región	Concesionarios para la prestación del servicio en la Región	
1	Telcel, Bajacel (MoviStar)	1	Telcel, MoviStar, Iusacell PCS (Grupo Iusacell)	Baja California, Baja California Sur y el Municipio de San Luis Río Colorado del Estado de Sonora.
2	Telcel, Movitel (MoviStar)	2	Telcel, MoviStar, Unefón	Sonora y Sinaloa excluyendo el municipio de San Luis Río Colorado del Estado de Sonora
3	Telcel, Norcel (MoviStar)	3	Telcel, MoviStar, Unefón	Chihuahua, Durango y los municipios de Torreón, Francisco I. Madero, Matamoros, San Pedro y Viesca del Estado de Coahuila
4	Telcel, Cedetel (MoviStar)	4	Telcel, MoviStar, Unefón, Iusacell PCS (Grupo Iusacell)	Coahuila, Nuevo León y Tamaulipas excluyendo los municipios de Torreón, Francisco I. Madero, Matamoros, San Pedro y Viesca del Estado de Coahuila.
5	Telcel, Comcel (Grupo Iusacell)	6	Telcel, MoviStar, Unefón	Jalisco, Nayarit, Colima y Michoacán, excluyendo los municipios de Huejucar, Sta. María de los Ángeles, Colotlán, Teocaltiche, Huejuquilla, Mezquitic, Villa Guerrero, Bolaños, Lagos de Moreno, Villa Hidalgo, Ojuelos y Encarnación de Díaz del estado de Jalisco.
6	Telcel, Sistemas Telefónicos Portátiles (Grupo Iusacell)	7	Telcel, MoviStar, Unefón	Aguascalientes, San Luis Potosí, Zacatecas, Guanajuato, Querétaro, y los municipios de Huejucar, Sta. María de los Ángeles, Colotlán, Teocaltiche, Huejuquilla, Mezquitic, Villa Guerrero, Bolaños, Lagos de Moreno, Villa Hidalgo, Ojuelos y Encarnación de Díaz del estado de Jalisco.
7	Telcel, Telegolfo (Grupo Iusacell)	8	Telcel, MoviStar, Unefón, Servicios de Acceso Inalámbricos.	Puebla, Tlaxcala, Veracruz, Oaxaca y Guerrero
8	Telcel, Portatel (Grupo Iusacell)	5	Telcel, MoviStar, Unefón	Chiapas, Tabasco, Yucatán, Campeche y Quintana Roo
9	Telcel, SOS Telecomunicaciones (Grupo Iusacell)	9	Telcel, MoviStar, Unefón	Distrito Federal y los Estados de México, Morelos e Hidalgo

**Tabla 2.6.3** División Regional para Celular y PCS

### 2.6.1 México y los Sistemas de Segunda Generación.

Tal y como se vio anteriormente, en México existen diversas empresas que brindan los servicios de comunicación móvil, hablando en términos de sistemas de telefonía la competencia se encuentra principalmente entre GSM, TDMA (IS-136) y CDMA (IS-95) (ver tabla 2.6.2).

#### Radiomóvil Dipsa (Telcel)

Telcel actualmente emplea las tecnologías TDMA y GSM. Con la introducción de GSM, Telcel cuenta con dos redes de comunicación celular funcionando paralelamente: TDMA, con cobertura en todo el país y GSM. La red GSM funciona en la banda D (1900 MHz) en todo el territorio mexicano y hoy en día opera en casi todas las ciudades del país (aproximadamente 450 ciudades)

Entre las aplicaciones que se pueden obtener con la red GSM de Telcel se encuentran: multiconferencia, portabilidad del número, mayor seguridad, notificación de

buzón y de mensajes de 2 vías a través de iconos en la pantalla del teléfono, llamada en espera, personalización y almacenamiento de información, envío y recepción de datos, etc.

Asimismo Telcel se encuentra ya en el proceso hacia 3G. Como primer paso esta desarrollando la red GSM/GPRS con cobertura nacional.

Telcel está buscando como destino final los servicios de Tercera Generación y como segundo paso implementará a principios del 2005 la tecnología EDGE para llegar así a UMTS como el último paso.

### **Grupo Iusacell**

Desde septiembre de 1997 Iusacell comenzó la transformación de su infraestructura tecnológica con la introducción de los primeros elementos inteligentes STP's ("Signaling Transfer Points"), que mediante el protocolo SS7 mejoró los tiempos de conexión de llamadas.

El cambio de la infraestructura analógica AMPS por la infraestructura digital CDMA se inicio desde marzo de 1998, y la cual se caracteriza por su calidad de voz semejante a una línea telefónica fija.

En ese mismo año Iusacell puso en servicio los HLR's externos (Home Location Register) que fueron la clave para soportar una plataforma de servicios avanzados denominada Red Inteligente. Iusacell se caracteriza por su gran infraestructura de fibra óptica y microondas, siendo esto una base para sus redes.

Actualmente Iusacell continúa buscando los elementos necesarios para la Tercera Generación, en el primer trimestre del 2003 Iusacell lanza sus nuevos paquetes y ofertas de valor para clientes de alto volumen. Esta oferta de valor incluye el lanzamiento de tecnología avanzada 1XRTT, con capacidad para transmitir datos por medio de la red celular a velocidades de hasta 144 kbps.

### **Telefónica Móviles de México (MoviStar)**

Telefónica Móviles México, S.A. de C.V., es la operadora filial del Grupo Telefónica Móviles en el mercado mexicano. Al día de hoy, cuenta con más de 4 millones de clientes en todo el país y unifica todas sus operaciones en México bajo la marca Telefónica MoviStar.

Telefónica Móviles México es una empresa sólida, respaldada internacionalmente por Telefónica Móviles la cual, después de la adquisición de Bell South, se posicionó como el segundo operador de telefonía celular multinacional a nivel mundial, con una red global que da servicio a más de 68 millones de clientes. En México, MoviStar tiene cobertura en más de 130 ciudades con planes de finalizar el 2004 con 230.

Telefónica Móviles está fundamentada sobre la tecnología GSM, sin embargo también utiliza CDMA en algunas de sus operadoras de telefonía móvil en el norte del país (Bajacel, Movitel, Norcel y Cedetel).

Debido a su gran mercado en Europa de Grupo Telefónica, Telefónica Móviles podría contar con el apoyo de infraestructura y tecnología que le ayudará para un rápido proceso hacia la Tercera Generación. De hecho Telefónica se prepara para cambiar su red hacia EDGE, el mismo que recientemente Telcel anunció evolucionar en un par de meses, por lo que se espera una intensa competencia en los servicios de este mercado entre estas empresas.

### **Unefon**

Unefon es una compañía de telefonía móvil en México enfocada en proveer servicios de telefonía básica al mercado masivo en las principales ciudades del país.

La estrategia de Unefon se ha basado en dos realidades de la industria: la baja penetración de servicios de telefonía en los hogares y el crecimiento esperado en la demanda de servicios móviles. Datos relacionados con la industria revelan que al cierre de 2002 la penetración de telefonía fija en México era de aproximadamente 15 por ciento, mientras que la penetración de líneas móviles era de un 26 por ciento. La telefonía móvil en nuestro país ha mantenido un crecimiento constante en los últimos años, al llegar 27 millones de usuarios a nivel nacional.

De acuerdo a estimaciones el crecimiento de la industria de telefonía móvil en México mantendrá la actual tendencia para llegar a 39.6 millones de usuarios al finalizar el año 2007. Asimismo, se estima que las líneas de telefonía fija alcanzarán alrededor de 20 millones al cierre del 2007.

A tres años de haber iniciado sus operaciones comerciales, la Compañía ha alcanzado una participación de mercado de aproximadamente 5%.

El crecimiento del mercado de telefonía en México está marcado por la inminente necesidad de servicios de comunicaciones de la gran mayoría de la población. En virtud de ello, Unefon está principalmente enfocado en satisfacer la gran demanda proveniente de la población mexicana de ingresos medios. El enfoque de mercado de Unefon contempla ofrecer servicios de calidad al mejor precio a este mercado principalmente. Este enfoque está apoyado tanto en su eficiente infraestructura tecnológica (CDMA), así como en la experiencia en mercadeo de sus socios estratégicos Grupo Elektra y TV Azteca.

## 2.7 UMTS servicios y aplicaciones

Una de las principales mejoras de UMTS es que se pueden utilizar tasas de bits mayores por usuario, tanto en la conmutación por circuitos como en la conmutación por paquetes. Estas tasas de bits mayores facilitan la introducción de nuevos servicios como la video telefonía y aquellos relacionados con el intercambio de grandes cantidades de información. A diferencia de otras redes existentes, UMTS permite la negociación de las propiedades de la portadora de radio para que sea la más apropiada para transportar la información de acuerdo con la aplicación seleccionada. El proceso de negociación es el siguiente: la aplicación solicita una portadora de acuerdo a sus necesidades mientras que la red verifica los recursos disponibles y la suscripción del usuario (ya que las propiedades de la portadora afectan directamente el precio del servicio) y responde, posteriormente el usuario acepta o rechaza la oferta. La negociación se inicia por la aplicación y en caso de ser necesario puede haber una renegociación ya sea por la misma aplicación o por la red.

Las aplicaciones y los servicios pueden dividirse en diferentes grupos de acuerdo con el tráfico como se resume en la tabla 2.7.1:

	CONVERSACIONAL	AFLUENTE	INTERACTIVA	DIFERIDA
CARACTERÍSTICAS	Se conserva una relación temporal entre la información.  Es la clase más sensible al retardo.	Se conserva una relación temporal entre la información.	Requiere un patrón de respuesta.  Preserva la integridad de los datos.	El usuario destino no esta esperando el dato en un tiempo dado.  Preserva la integridad de los datos.
APLICACIONES	Principalmente los servicios de voz, videotelefonía y video.	Descarga de aplicaciones multimedia.	Navegación Web y videojuegos en línea.	Descarga de correo electrónico.

**Tabla 2.7.1** Clases de QoS en UMTS

La diferencia entre estas clases la hace su sensibilidad a la carga de tráfico y por consiguiente las aplicaciones que se encuentran dentro de estas, siendo la *conversacional* la clase más sensible al tráfico y la de “*diferida*” la menos sensible. A continuación se describirán algunas de características principales de los grupos antes mencionados:

### *Conversacional*

La aplicación mas conocida de esta clase es el servicio mejorado de voz sobre portadoras de conmutación de circuitos debido a que el codificador de voz utiliza la técnica

Codificador Adaptativo de Tasa Múltiple (AMR Adaptive Multi-rate) que permite el uso de 8 tasas de bits para incrementar la interoperabilidad con otras redes celulares existentes y utiliza de manera efectiva la actividad discontinua de una conversación para incrementar el tiempo de vida de la batería del equipo terminal e incrementar la capacidad del sistema.

Con Internet y multimedia surgen nuevas aplicaciones que requieren este tipo de tráfico dentro de las que podemos mencionar la voz sobre IP y la video telefonía que tiene restricciones de retardo similares a las del servicio de voz tradicional pero dada la naturaleza de la compresión de video la BER (tasa de bit erróneo) es más estricta que la requerida para el servicio de voz.

### ***Afluente (“Streaming”)***

Afluente multimedia es una técnica para transferencia de datos que pueden ser procesados como un flujo continuo de datos, esta clase puede soportar más adelantos o atrasos de los datos que la clase conversacional. Las aplicaciones que se encuentran dentro de esta técnica son: web broadcast (difusión) y descarga de videos en demanda.

### ***Interactiva***

Este esquema se aplica cuando el usuario final se encuentra en línea esperando datos desde el equipo remoto, ejemplos de este tipo de interacción son la navegación web, video juegos en línea, acceso a servidores e interacción entre equipos remotos. En esta clase el destinatario del mensaje se encuentra esperando la respuesta dentro de un cierto tiempo denominado de viaje redondo y el contenido de los paquetes debe transferirse con el menor error posible.

### ***Diferida (“Background”)***

Los datos recibidos de aplicaciones como el correo electrónico, SMS (Short Messaging Service), MMS (Multimedia Messaging Service) o la descarga de bases de datos pueden ser entregados en modo diferido ya que las aplicaciones que los utilizan no requieren realizar acciones inmediatas con ellos, el retardo puede ser hasta de varios segundos sin que se ocasione algún daño o pérdida. Esta clase se caracteriza por el hecho de que el destino no esta esperando el dato dentro de un cierto tiempo lo que la hace ser la menos sensible al retardo.

### 3. DESCRIPCIÓN GENERAL DE COMPONENTES DE UMTS: FUNCIONES.

Este capítulo provee un amplio repaso de la arquitectura del sistema UMTS, incluyendo una introducción sobre el funcionamiento de los elementos de red lógicos y las interfaces. UMTS tiene asignado para su operación bandas de frecuencia específicas de acuerdo a los modos de multiplexación utilizados de los enlaces ascendente y descendente (en el tiempo: TDD, y en frecuencia: FDD), de igual manera cuenta con un ancho de banda reservado para comunicaciones móviles satelitales.

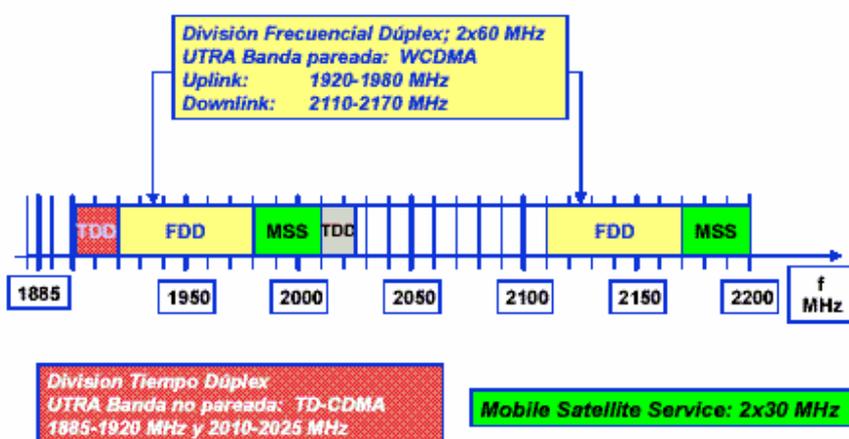


Figura 3.0.1. Espectro disponible para UMTS

El sistema UMTS consiste de un número de elementos lógicos de red que tienen una funcionalidad definida. Estos elementos de red pueden ser agrupados basándose en una funcionalidad similar, o clasificándolos de acuerdo a la subred que ellos pertenecen. Básicamente se divide en dos dominios principales: El dominio de equipo de usuario (UE) y el dominio de la infraestructura dentro de la que se encuentran la red de conmutación o Core Network (CN) encargada de la conmutación y establecimiento de llamadas, así como de conexiones de datos hacia redes externas y la Red de Acceso de Radio de UMTS (UTRAN UMTS Terrestrial Radio Access Network), que es responsable del manejo de toda la funcionalidad y administración de los recursos de radio.

La arquitectura de red UMTS R'99 se ha definido para facilitar el proceso de migración desde las redes GSM/GPRS hacia UMTS por lo que incorpora: la red de acceso GSM, la red UTRAN y la Red Central (CN) diseñada como una evolución de la red GSM/GPRS, es por esto que desde el punto de vista de especificación y estandarización tanto UTRAN como el UE consisten completamente de nuevos protocolos cuyo diseño está basado en las necesidades de la tecnología de radio WCDMA mientras que la definición del CN en la primera fase de implementación es adoptada de los sistemas anteriores.

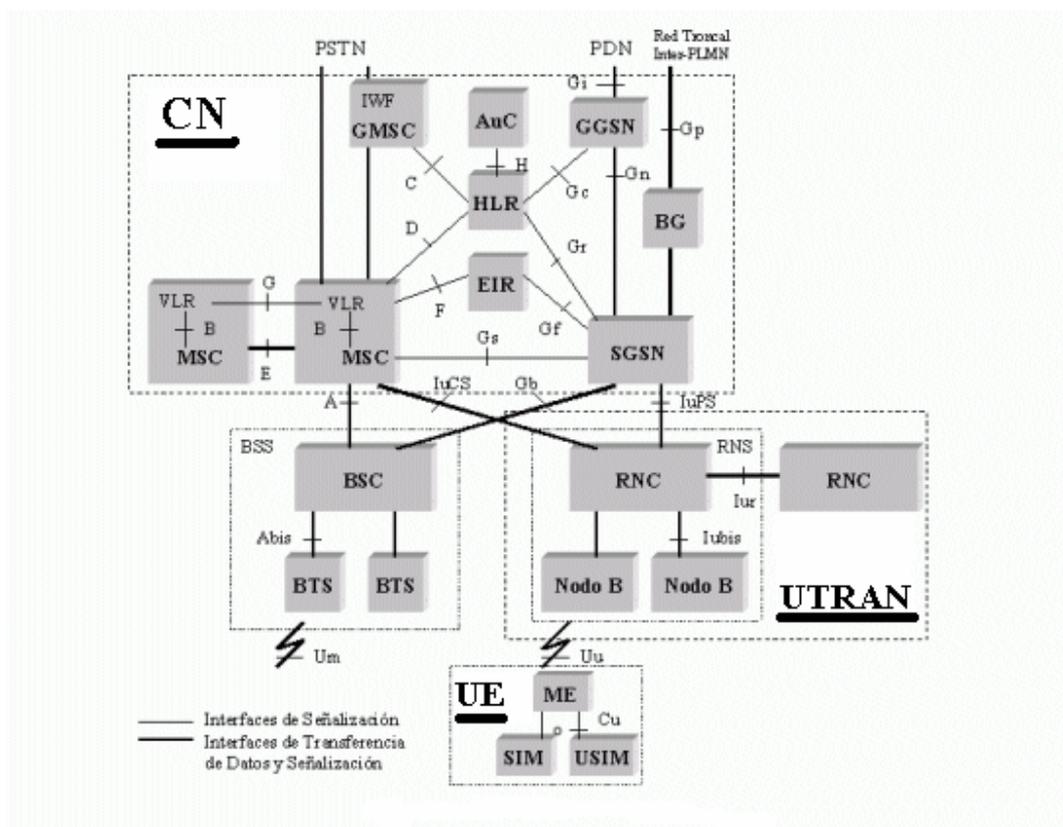


Figura 3.0.2 Arquitectura del sistema UMTS R-99

Como primera instancia se atiende mediante un panorama general la red de conmutación o Core Network (CN). En la segunda parte se analiza la estructura y funciones principales de la Red de Acceso de Radio de UMTS (UTRAN UMTS Terrestrial Radio Access Network) y finalmente se describe la terminal de UMTS para el usuario.

### 3.1 Núcleo de Red (CN Core Network)

La CN de UMTS puede ser vista como la plataforma básica para todos los servicios de comunicación proporcionados a los suscriptores UMTS. Además de las funciones de conmutación y establecimiento de llamadas y de las conexiones de datos hacia redes externas, la CN también planea y maneja ciertos requerimientos de Calidad de Servicio (QoS Quality of Service) entre la propia red y las redes externas, con el fin de garantizar un óptimo desempeño de los servicios proporcionados.

La CN que se presenta en este capítulo está enfocada básicamente en las primeras especificaciones 3GPP R99. De igual manera se incluyen partes básicas relacionadas con las funciones de los elementos de la arquitectura del CN, como lo son: Administración de la Movilidad (MM Mobility Management) y la Administración de las Comunicaciones (CM Communication Management).

La CN puede subdividirse en: el dominio de Red Servidora (SN, Serving Network), el dominio de Red Base (HN, Home Network), y el dominio de Red de Transito (TN, Transit Network). A continuación se describen esos dominios:

SN	HN	TN
Parte de la CN conectada a la Red de Acceso (AN), y representa las funciones de la CN que son locales al punto de acceso del usuario y por tanto su ubicación cambia cuando el usuario se mueve.	Representa las funciones de la CN que son conducidas a una ubicación permanente independiente de la posición del punto de acceso del usuario; y es responsable de la gestión de información de suscripciones y datos de usuario. El USIM está relacionado con la suscripción en la HN.	Es la parte de la CN ubicada en el camino de comunicación entre la SN y la parte remota.

**Tabla 3.1.1.** Dominios del CN

### 3.1.1 Arquitectura del CN (3GPP R'99)

La primera versión de las especificaciones UMTS (3GPP R99) toma en cuenta un núcleo de red envuelto sobre GSM. Esto significa que la plataforma GSM con las extensiones GPRS para servicios de paquetes de datos, es usada efectivamente para la primera versión de CN en UMTS. La implementación del CN sobre una plataforma ya existente reduce los costos de UMTS en el mercado, además de que GSM/GPRS es capaz de proveer los servicios de comunicaciones básicos manejando tráfico a través de CS o PS y así mismo es capaz de proporcionar un conjunto de servicios suplementarios y de valor agregado. Por todo lo anterior, la plataforma GSM/GPRS es una elección óptima para la base del CN de UMTS.

El CN está fundamentado sobre la naturaleza de dos dominios: CS (conmutación por circuitos) y PS (conmutación por paquetes). El dominio CN CS está conformado por los siguientes elementos:

*Central de Conmutación de Móviles* (MSC, Mobile Switching Centre): Es una central que realiza todas las funciones de señalización y conmutación requeridas para el manejo de servicios CS hacia y desde las MSs localizadas en una determinada área geográfica. La principal diferencia con una central de una red fija es que incorpora funciones para la gestión de la movilidad (MM Administración de Movilidad) como los procedimientos para el registro de posición y para el handover. El MSC se conecta a la red de acceso GSM, formada por uno o varios BSSs, a través de la interfaz A y a la UTRAN, formada por uno o varios RNSs, a través de la interfaz Iu-CS. Una CN puede estar constituida por uno o varios MSCs.

*Central de Conmutación de Móviles Pasarela (GMSC, Gateway MSC):* En el caso de llamadas entrantes a una Red Móvil Terrestre Pública (PLMN Public Land Mobile Network), la llamada es encaminada hacia un MSC, si la red fija no es capaz de interrogar a un HLR. Este MSC interroga el HLR apropiado y entonces encamina la llamada al MSC donde esté la MS llamada, por lo cual GMSC también desempeña funciones de MM (Administración de Movilidad) ya que debe de realizar un procedimiento de recuperación de ubicación para encontrar a la correcta MSC para establecer la conexión y el camino de la llamada. El MSC que realiza la función de encaminamiento hasta la ubicación de la MS se denomina GMSC. En una forma más concisa el GMSC es elemento que toma cuidado de las conexiones entrantes y salientes hacia / de otras redes (CC Control de Conexiones).

*Función de “Interfuncionamiento” (IWF, Interworking Function):* Es una entidad funcional asociada con el MSC, y proporciona la funcionalidad necesaria para permitir el interfuncionamiento entre una PLMN y las redes fijas (e.g. ISDN, PSTN, PDN). Las funciones de la IWF dependen de los servicios y el tipo de red fija. La IWF se encarga de convertir los protocolos usados en la PLMN a los usados en la red fija utilizada.

El CN PS tiene también dos elementos específicos de red:

*Nodo Soporte GPRS Servidor (SGSN, Serving GPRS Support Node):* El SGSN sigue y mantiene la posición de las MSs en su área, y realiza funciones de seguridad y control de acceso. El SGSN establece contextos PDP (Packet Data Protocol) activos que son usados para el encaminamiento con el GGSN que el abonado este usando. La función de registro de posición en un SGSN almacena información de suscripciones y datos de ubicación (e.g. la celda o área de encaminamiento donde la MS esta registrada, o la dirección del GGSN donde exista un contexto PDP activo) de los abonados registrados en el SGSN para servicios con conmutación de paquetes. Dicha información es necesaria para llevar a cabo la transferencia entrante o saliente de datos en paquetes. El SGSN está conectado al BSC a través del interfaz Gb y al RNC a través del interfaz Iu-PS. El SGSN puede enviar datos de ubicación al MSC/VLR a través de la interfaz Gs opcional. El SGSN también puede interactuar con un SCF (Service Control Function) a través de una interfaz CAP. El SGSN es principalmente responsable de algunas funciones de la administración de movilidad, como actualización de enrutamiento, registro de la ubicación, paging de paquetes y el control de algunos mecanismos de seguridad relacionados con la comunicación por paquetes.

*Nodo Soporte GPRS Pasarela (GGSN, Gateway GPRS Support Node):* El GGSN proporciona el interfuncionamiento con redes externas con conmutación de paquetes a las que se conecta a través del interfaz Gi, y está conectado con uno o varios SGSNs a través del interfaz Gn. La función de registro de posición en un GGSN almacena información de suscripciones y datos de encaminamiento (e.g. la dirección del SGSN donde el MS esta registrado) para cada abonado que tenga al menos un contexto PDP activo. Dicha información es recibida desde el HLR (a través del interfaz Gc) y el SGSN (a través del interfaz Gn), y es necesaria para poder establecer un túnel de tráfico de datos en paquetes, destinado a una MS, con el SGSN donde el MS esta registrado. El SGSN y el GGSN contienen funcionalidad de encaminamiento IP y pueden estar interconectados por routers IP. Cuando el SGSN y el GGSN están en diferentes PLMNs, ellos están interconectados a

través del interfaz Gp que proporciona la funcionalidad del interfaz Gn y funcionalidad de seguridad requerida para la comunicación inter-PLMN. El GGSN al igual que GMSC realiza también funciones de Administración de la Movilidad y de Control de Comunicaciones (Administración de las Sesiones).

*Pasarela Frontera (BG, Border Gateway):* La BG es una pasarela entre una PLMN soportando GPRS y una red troncal inter-PLMN externa usada para la interconexión con otras PLMNs también soportando GPRS. El papel del BG es el de proporcionar el nivel apropiado de seguridad para proteger la PLMN y sus abonados.

Otros elementos indispensables de la arquitectura del CN y que interactúan con elementos de PS y CS son:

*Registro de Posición Base (HLR, Home Location Register):* Contiene una base de datos encargada de administrar a los abonados móviles. Una red troncal puede contener uno o varios HLRs. El HLR almacena información de suscripciones y datos de ubicación que permiten la tasación y encaminamiento de llamadas/mensajes hacia el MSC/SGSN donde se ha registrado la MS.

*Registro de Posición de Visitantes (VLR, Visitor Location Register):* Se encarga de controlar el roaming de las MSs en un área MSC. Cuando una MS entra en una nueva área de ubicación se comienza un procedimiento de registro. El MSC encargado de dicha área notifica este registro y transfiere al VLR la identidad del área de ubicación donde la MS está situada. Si dicha MS no está todavía registrada, el VLR y el HLR intercambian información para permitir el adecuado manejo de las llamadas de esta MS. El VLR puede estar encargado de una o varias áreas MSC.

*Centro de Autenticación (AuC, Authentication Centre):* Contiene una base de datos que mantiene los datos de cada abonado móvil para permitir la identificación internacional de abonados móviles (IMSI) para poder realizar la autenticación del abonado y para poder cifrar la comunicación por el camino radio entre la MS y la red. El AuC transmite los datos requeridos para la autenticación y cifrado a través del HLR hasta el VLR, MSC y SGSN que necesitan autenticar al abonado móvil. El AuC está asociado a un HLR a través de la interfaz H, y almacena claves de identificación para cada abonado móvil registrado en el HLR asociado.

*Registro de Identidad de Equipos (EIR, Equipment Identity Register):* Contiene una base de datos que mantiene los identificadores internacionales de equipos móviles (IMEI) para controlar el acceso a la red de los equipos móviles.

### **3.1.2 Administración de Movilidad (MM Mobility Management).**

La esencia de la movilidad en 3G proporciona comunicaciones más estables y una variedad de servicios nuevos para los usuarios. Como su nombre lo indica MM es responsable de todas las funciones relacionadas con la movilidad del usuario dentro de la cobertura de red UMTS.

Existen dos conceptos básicos referentes con la movilidad de usuario:

- Locación o localidad
- Posición.

El término “locación” es usado para referirse a la ubicación del usuario (y su terminal) dentro de una estructura lógica de la red. Los elementos identificables dentro de esta estructura lógica son las células y las áreas compuestas por grupos de células. El término “posición” se refiere a la posición geográfica (coordenadas estandarizadas) del usuario (y su terminal) dentro del área de cobertura de la red.

La información de locación es utilizada por la misma red para comunicar a los usuarios y brindarles los servicios (propios de la red) que son dirigidos a ellos. La información de posición es manejada por la red UMTS y se utiliza para algún servicio externo, como el Centro de Llamadas de Emergencia.

Entre algunas funciones de MM se encuentran el posicionamiento, roaming y algunos aspectos de seguridad. MM maneja identidades (permanentes y temporales) e información de direccionamiento de los usuarios y sus terminales.

### 3.1.2.1 Identidades de Usuarios y sus Terminales

La red UMTS requiere de muchos tipos de números e identidades para ser usados en propósitos diferentes. Los propósitos de las diferentes identidades usadas en UMTS pueden ser clasificados bajo la siguiente relación:

- *Identidad Única:* Es usada para proveer una identidad única global para el suscriptor. La Identidad de Suscriptor Móvil Internacional (IMSI International Mobile Subscriber Identity) es la identidad única del suscriptor móvil y básicamente consiste de tres partes:

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

Donde MCC es el código de la ciudad móvil (Mobile Country Code) compuesto por tres dígitos, MNC es el código de red móvil (Mobile Network Code) conformado por 2-3 dígitos, y la MSN es el número de suscriptor móvil (Mobile Subscriber Number) de 9-10 dígitos.

- *Separación de servicio:* Especialmente estas identidades son usadas para reconocer diferentes servicios. El Número ISDN de Suscriptor Móvil (MSISDN Mobile Subscriber ISDN Number) es usado para una separación de servicios; por ejemplo el usuario móvil puede tener un MSISDN para el servicio de voz y otro MSISDN destinado a otro servicio. El MSISDN se compone de tres partes:

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

Donde CC (Country Code) es el código de ciudad (1-3 dígitos), NDC (National Destination Code) es el código de destinación nacional (1-3 dígitos) y SN (Subscriber Number) es el número de subscriptor.

- *Propósitos de Enrutamiento:* Algunas disposiciones especiales son requeridas con el fin de ejecutar en enrutamiento de transacción de llamadas. El Número de Seguimiento de Subscriptor Móvil (MSRN Mobile Subscriber Roaming Number) es usado para propósitos de enrutamiento de llamadas.
- *Seguridad:* Un ejemplo de este tipo de identidades es el Número de Identidad de Subscriptor Móvil Temporal (TMSI Temporary Mobile Subscriber Identity Number) que es una identidad utilizada algunas veces en lugar del IMSI por cuestiones de seguridad.

Una identidad adicional es la Identidad de Equipo Móvil Internacional (IMEI International Mobile Equipment Identity) que es un número que únicamente identifica el hardware del UE. La base de datos donde se encuentran todas las IMEI's es conocida como el Registro de Identidad de Equipo (EIR Equipment Identity Register).

### **3.1.3 Administración de Comunicación (CM Communication Management)**

La función de CM se desarrolla bajo dos modalidades principales que son: Administración de Conexión o Control de Conexión (CC Connection Control) y Administración de Sesiones (SM Session Management).

CC es responsable de las funciones bajo el dominio de CS (conmutación por circuitos) de las llamadas entrantes y salientes de la red. Analiza tanto el número de llamada (por ejemplo si es internacional o nacional) así como el proceso para las redes con las que debe interactuar (como PSTN, ISDN, etc.) para establecer la conexión de la transacción de llamadas.

En el dominio de PS (conmutación por paquetes) las conexiones son llamadas sesiones, las cuales deben ser establecidas y manejadas a través de una entidad llamada Administración de Sesiones (SM). Al igual que CC, SM analiza el proceso para las redes con las que debe de interactuar referidas bajo un nombre genérico: "*Protocolo de Paquetes de Datos (PDP Packet Data Protocol)*". El diseño de la CN bajo el dominio de PS permite varios protocolos PDP diferentes, pero el caso más obvio es el uso de IP como un PDP, pero otros protocolos como X.25 pueden también ser soportados.

### 3.2 Red de Acceso de Radio de UMTS (UTRAN)

Como ya se había mencionado anteriormente la Red de Acceso de Radio de UMTS (UTRAN UMTS Terrestrial Radio Access Network) es responsable del manejo de toda la funcionalidad y administración de los recursos de radio.

La red de acceso de radio de UMTS ha sido subdividida en esta sección en dos partes principales, las cuales contemplan la técnica de acceso al medio WCDMA utilizada por UTRAN así como algunas funciones principales derivadas de ésta misma y la arquitectura elemental. Cabe mencionar que también se han incluido algunos conceptos esenciales para el desempeño de funciones UTRAN.

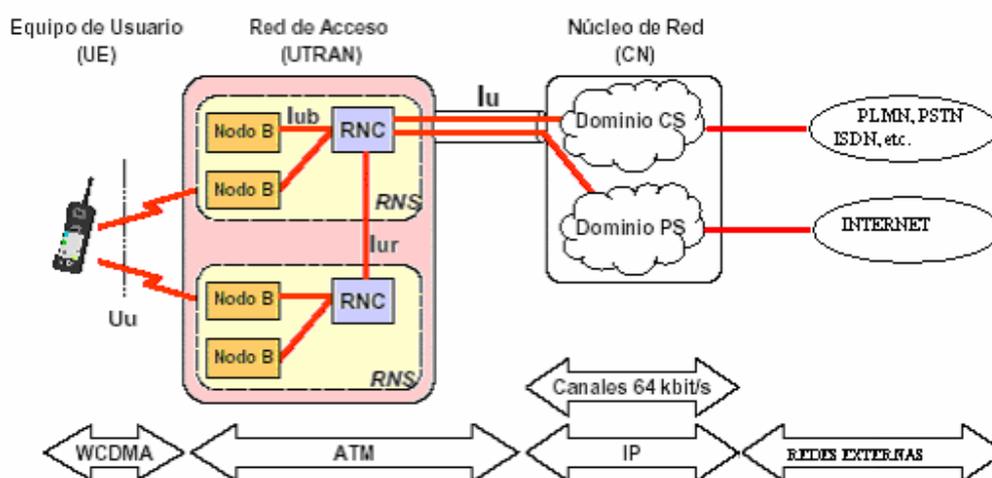


Figura 3.2.1. Arquitectura del sistema UMTS

#### 3.2.1 WCDMA (Wideband CDMA)

La capa física de UMTS está basada en la técnica de acceso por división de códigos de banda ancha (WCDMA). Para describir los principales parámetros que caracterizan a WCDMA se puede mencionar lo siguiente:

- *Es un sistema basado en DS-SS-CDMA (Direct Sequence CDMA –CDMA de secuencia directa-). Los bits de información del usuario son expandidos sobre un ancho de banda muy superior al que sería estrictamente necesario para su transmisión. Lo anterior se efectúa mediante la multiplicación de los datos de usuario por bits cuasi-aleatorios (llamados chips) derivados de los códigos de spreading de CDMA.*
- *Tiene una tasa de chip fija de 3.84 Mcps usada para soportar una portadora de ancho de banda de aproximadamente 5 MHz. En WCDMA el ancho de banda utilizado por las portadoras es aproximadamente de 4.4-5 MHz, este*

ensanchamiento del canal de la portadora es útil para habilitar y soportar altas velocidades de usuario que conlleva a más beneficios gratificantes a comparación de IS-95. La actual separación o bandas de guarda entre canales adyacentes es de 200 KHz.

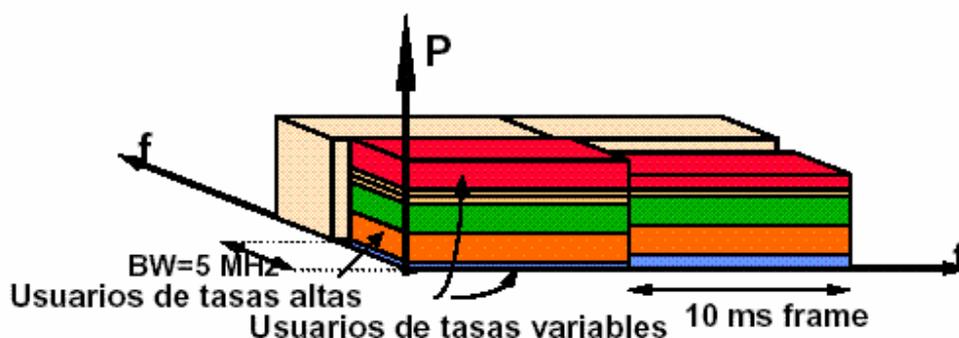


Figura 3.2.2. Asignación de ancho de banda en WCDMA en el espacio tiempo-frecuencia.

- *Puede soportar altas velocidades variables de datos de usuario.* Es decir, que el concepto de Ancho de Banda por Demanda (BoD Bandwith on Demand) es soportado por WCDMA. A cada usuario se le asigna tramas de duración 10 ms durante las cuales su tasa de datos es constante, aunque puede variarse de una a otra trama (variando el Factor Spreading). En la figura 3.2.2 se muestra esta característica y se observa que los servicios con altas tasas de bits de usuario requieren una mayor potencia que las de baja velocidad.
- *Soporta el modo básico de operación: FDD (Frequency Division Duplex).* El diseño para el modo TDD (Time Division Duplex) se basa en la interfaz de aire TD-CDMA. En FDD se utilizan frecuencias diferentes para los enlaces ascendentes y descendentes (uplinks y downlinks); mientras que en TDD el uplink y el downlink utilizan la misma frecuencia pero se encuentran separados en el tiempo. Cabe aclarar que uplink es el enlace que comprende de la estación móvil a la estación base, y el sentido inverso es el enlace downlink.

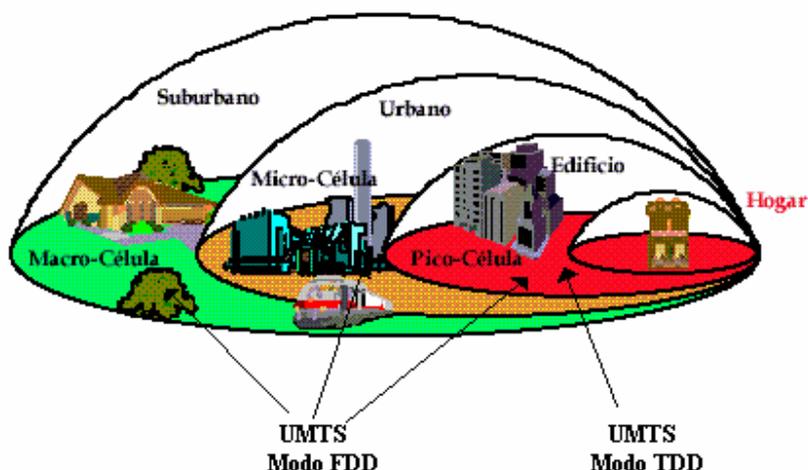


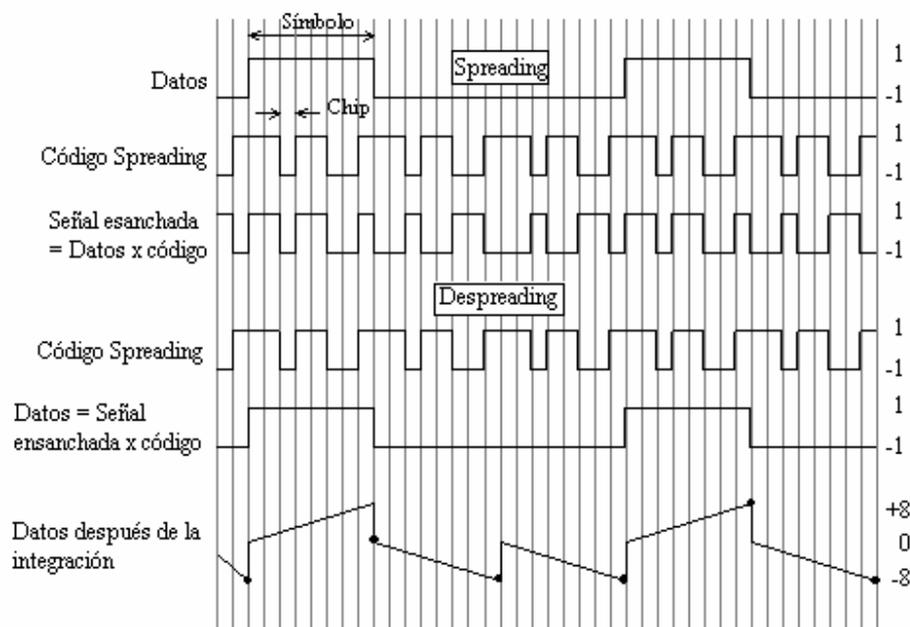
Figura 3.2.3. Escenario para los modos FDD y TDD

- *WCDMA soporta la operación de estaciones base asíncronas.* Es decir, que no se necesita una referencia de tiempo global (como una señal GPS) para sincronizar la señal recibida con la secuencia de código correcta para el proceso de despreading (desensanchamiento). En WCDMA el receptor estima un tiempo de retardo que pudiese haber sufrido la señal codificada en el transcurso del camino, de tal modo que el receptor genera el código spreading correspondiente con un tiempo de retardo estimado  $c(t-T'd)$ . Si el tiempo de retardo estimado por el receptor es igual al tiempo de retardo que sufrió la señal codificada, es decir, que si  $T'd$  es igual a  $T_d$  (tiempo real de retardo de la señal) la multiplicación de  $c(t-T'd)$  por  $c(t-T_d)$  será unitaria (dado que  $c(t)$  es igual a +1 o -1), por lo que en ese momento se puede asegurar que el código spreading generado en el receptor está sincronizado con el código spreading que se está generando en el transmisor.
- *La interfaz de aire WCDMA habilita y ejecuta conceptos avanzados en cuestión de receptores de CDMA, como recepción multiusuario y antenas inteligentes.* Esta ventaja conlleva a tener más opciones en el sistema en cuanto a incrementar la capacidad y/o cobertura en una célula.
- *WCDMA ha sido desarrollado para operar en conjunción con GSM.* Por lo tanto, los handovers (hard handover) entre GSM y WCDMA son eficientemente soportados.
- *Ciclos de actividad de voz.* Cuando los usuarios no hablan, los demás se benefician porque baja la interferencia y por tanto aumenta la capacidad.
- *No es necesario ecualizador.* Sólo se necesita un correlador en el receptor para recuperar la señal deseada (el correlador amplifica la señal deseada debido a la ganancia de proceso, como se verá más adelante). Esto simplifica el receptor.
- *Fading (desvanecimiento de señal) reducido.* La recepción de señal de banda ancha se beneficia de la diversidad multitrayecto y de los algoritmos de control de potencia, reduciendo así los desvanecimientos de la señal.

### 3.2.1.1 Factor de Esparcimiento (SF Spreading Factor) y Ganancia de Proceso ( $G_p$ )

La técnica de acceso DS-SS-SSS (CDMA de secuencia directa –Direct Sequence CDMA-) es usada por WCDMA. Como ya se había mencionado en el capítulo anterior (2.2.3) la operación de esparcimiento o ensanchamiento (spreading) es llevada a cabo en el transmisor mediante dos pasos generales, el primer paso es la modulación (modulación banda base) de la señal de usuario de banda estrecha  $S_n$ , la cual ocupa un ancho de banda  $W_b$ . En este proceso de modulación la secuencia de bits de longitud  $n$  son agrupados de acuerdo a la modulación utilizada, convirtiéndose en una secuencia de “símbolos” que constituyen ahora la señal  $S_n$  (señal de banda estrecha –narrowband signal-). En el segundo

paso se realiza una multiplicación de cada símbolo de datos de usuario con una secuencia de código seudo aleatorio de bits (código spreading), llamados chips y cuya velocidad es superior a la señal  $S_n$ . El resultado de la multiplicación de ambas señales es un ensanchamiento de la señal original ( $S_w$  señal de banda ancha –wideband signal-), que ahora ocupa un ancho de banda  $W_c$



**Figura 3.2.4.** Spreading (ensanchado) y despreading (desensanchado) en DS-CDMA

En la figura 3.2.4 se observa que la señal ensanchada tiene una tasa cuya velocidad (tasa de chips) es igual a  $R_s \times (\text{No. de chips por símbolo})$ , donde  $R_s$  es la tasa de símbolos. De lo anterior se define entonces que el número de chips por cada símbolo de datos es llamado “*Factor de Esparcimiento o Factor de Spreading (SF)*”, es decir:

$$\text{Tasa de chips } (R_c) = (SF) \times \text{Tasa de símbolos } (R_s)$$

En WCDMA la tasa de chips es fija e igual a 3.84 Mcps y el SF varía de acuerdo a la tasa de símbolos o tipo de servicio de datos del usuario para mantener la tasa de chips constante.

La facilidad de recuperar una señal determinada depende en gran parte del factor de esparcimiento, de tal modo que mientras más grande sea el SF mayor será la capacidad de recuperar una señal de usuario. Por tal motivo el SF es visto como un tipo de ganancia, mejor conocida como “*Ganancia de Proceso ( $G_p$ )*”. Esto puede verse claramente en la figura 3.2.4, donde la amplitud de la señal de usuario una vez desensanchada y correlacionada es incrementada en proporción al factor de esparcimiento (en este caso  $SF=8$ ), es decir, que en el proceso de correlación del receptor se ha aumentado la amplitud de la señal deseada del usuario por el factor de esparcimiento, de tal modo que es mayor al promedio de la interferencia que presenta el sistema CDMA. Este efecto llamado ganancia

de proceso es un aspecto fundamental para todos los sistemas CDMA, y aunque en concepto es exactamente igual al SF la ganancia de proceso se calcula tomando en cuenta la tasa de bits de usuario (de acuerdo al tipo de servicio).

Por ejemplo, para el servicio de voz con una tasa de bits de 12.2 kbps la ganancia de proceso es de 25 dB =  $10 \log_{10} (3.84e6 / 12.2e3)$ , mientras que para una tasa de 2 Mbps la ganancia de proceso es de 2.83 dB. Cuanto mayor sea la ganancia de proceso, mejor reducirá los problemas del multitrayecto, así como los de interferencia.

Si se tiene en cuenta que  $R_c = 1/T_c \approx W_c$ , siendo  $T_c$  el periodo de la señal ensanchada y  $W_c$  su ancho de banda, y que  $R_b = 1/T_b \approx W_b$ , siendo  $T_b$  el periodo de la señal original y  $W_b$  su ancho de banda, se puede expresar la ganancia de proceso como la relación entre los anchos de banda:

$$G_p \text{ (dB)} = 10 \log_{10} (R_c / R_b) = 10 \log_{10} (W_c / W_b)$$

### 3.2.1.2 Propagación multitrayecto y receptor Rake

La propagación de radio en un canal móvil terrestre se caracteriza por múltiples reflexiones, difracciones y atenuaciones de la energía de la señal. Éstas son causadas por obstáculos generales como edificios, montañas o colinas, que originan una “propagación multitrayecto”.

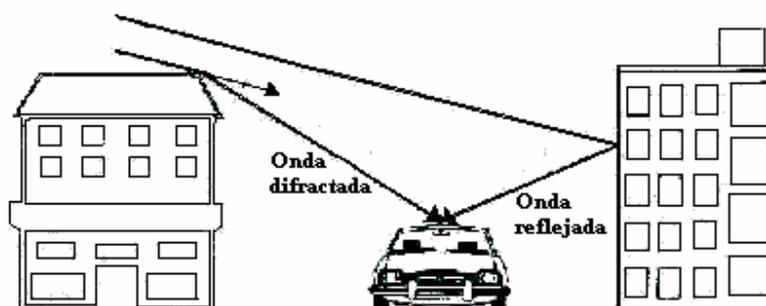


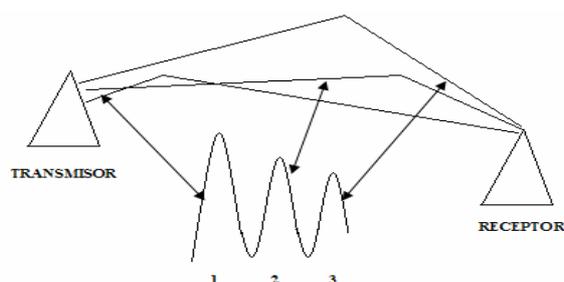
Figura 3.2.5. Propagación multitrayectoria

Uno de los medios utilizados para contrarrestar los desvanecimientos son las técnicas de diversidad, que involucran la creación de múltiples versiones de la señal recibida y la combinación de éstas. WCDMA mediante el uso del receptor RAKE característico de los sistemas CDMA puede tomar ventaja de la diversidad multi-trayecto para lograr una mejora en el desempeño de la detección de la señal mediante una combinación (Maximal Ratio Combining MRC) de la potencia de los diversos rayos incidentes en el receptor.

En el receptor RAKE la combinación de proporción máxima se refiere a que se genera una nueva señal que es una combinación lineal de todas las múltiples señales con un

apropiado peso. Las salidas de las diferentes ramas son sumadas en fase con un “factor de ganancia”. [11]

Las múltiples señales recibidas correspondientes a las diversas trayectorias recorridas por la señal se presentan en el receptor como versiones retrasadas de la señal transmitida que el receptor RAKE reúne en cada una de sus ramas para su proceso.



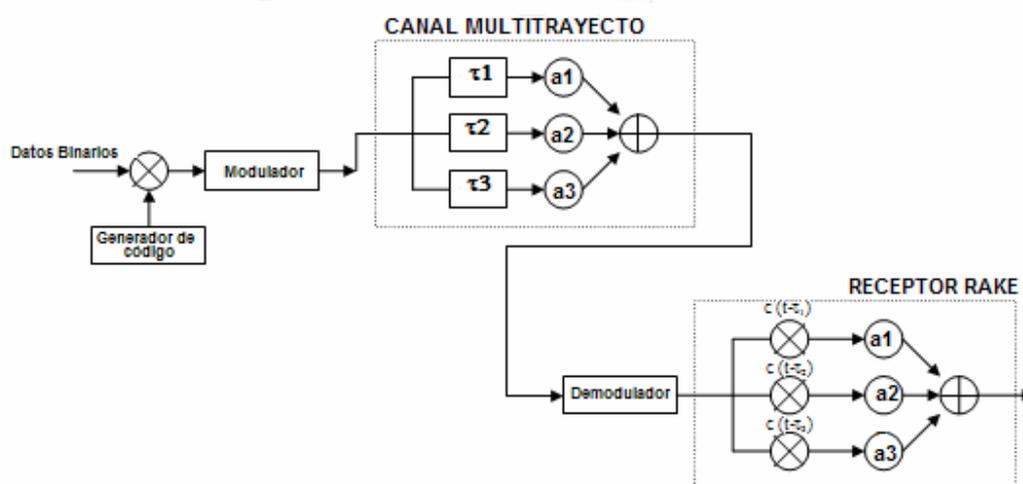
**Figura 3.2.6.** Diversidad multitrayecto

En WCDMA los dos efectos principales resultantes de la propagación multitrayecto son:

- La energía de la señal puede llegar al receptor a través de instantes de tiempo claramente distinguibles, por lo que la energía que llega es colocada en un perfil de retardo de multitrayecto. Si la diferencia de tiempo de las componentes multitrayecto es menor que  $0.26 \mu\text{s}$  (tiempo de duración de un chip a una tasa de  $3.84 \text{ Mcps}$ ), es decir, que si el retardo entre las diferentes señales que llegan al receptor es menor a la duración de un chip, el receptor WCDMA puede separar estas componentes multitrayecto y combinarlas con el propósito de obtener una “diversidad multicamino”. El retardo de  $0.26 \mu\text{s}$  puede obtenerse si la diferencia en las longitudes de trayecto es menor a  $78 \text{ m}$  ( $= \text{velocidad de la luz} \div \text{tasa de chip}$ ); con una tasa de chip de  $1 \text{ Mcps}$ , la diferencia entre las longitudes de camino sería cerca de  $300 \text{ m}$ . Por lo tanto, es fácil ver que con los  $5 \text{ MHz}$  en WCDMA se puede proporcionar “diversidad multicamino o multitrayecto” en pequeñas células.
- El canal de radio está sujeto a desvanecimientos de la señal (fadings). El fading ocurre como un resultado de la propagación multitrayecto, por ejemplo, en los caminos con una diferencia de longitud de media onda (a  $2 \text{ GHz}$  es aproximadamente a  $7 \text{ cm}$ ) las señales llegan virtualmente al mismo tiempo pero con un desfase de media longitud de onda, como resultado de lo anterior ocurre una cancelación de la señal conocida como interferencia destructiva, llamada “*fast fading*” y que se refleja en el receptor a través de fluctuaciones de la potencia de la señal. El fast fading es analizado mediante una distribución Rayleigh, cuyo modelo se aplica en el caso donde hay un gran número de trayectorias indirectas y éstas predominan sobre la trayectoria directa. El fast

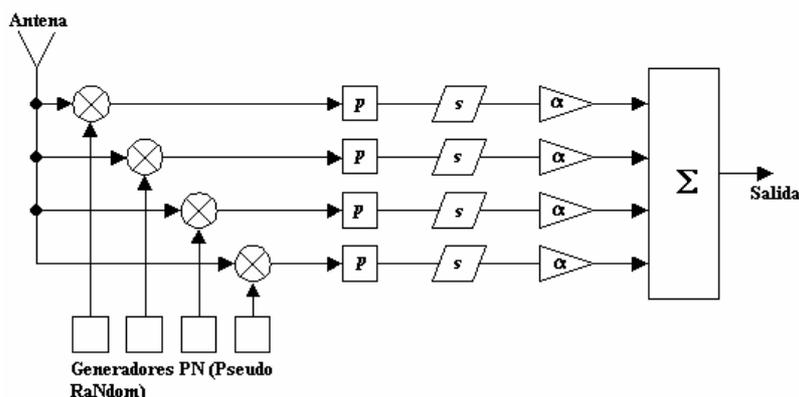
fading es acompañado generalmente por pequeñas variaciones en la señal principal, conocidas bajo el concepto de *slow fading* o *shadow fading*.

El principio de operación del receptor se basa en considerar que la señal transmitida después del “spreading” y la modulación pasa a través de un canal multirrayecto en donde sufre de retardos y atenuaciones. El receptor RAKE está formado por varios correladores y cada uno recibe una componente multirrayecto de la señal sobre la cual se realiza el desensanchamiento mediante la correlación con un código pseudo aleatorio alineado en el tiempo con el retardo de la señal multirrayecto, posteriormente a estas señales se les aplica una ganancia igual al factor de atenuación de la ruta y finalmente se combinan para recuperar la señal transmitida. Debido al movimiento del UE el ambiente sobre el que viaja la señal cambia lo que hace necesario que los retardos y los factores de atenuación cambien también, para esto se requiere de mediciones que permitan ajustar las ramas del receptor cuando el perfil de retardo y atenuación hayan cambiado. En la siguiente figura se observa el proceso de la detección de la señal.



**Figura 3.2.7.** Principio de Operación del receptor Rake

Cada uno de los rayos captados por la antena tiene una fase significativamente diferente a la de los demás. La relación entre las fases cambiará en una manera aleatoria con el tiempo. El receptor Rake puede verse como un enrejado constituido por “dedos” o “fingers”, donde cada finger es seleccionado para cada rayo y realiza separadamente el desensanchamiento de la señal con la apropiada secuencia pseudo-aleatoria del código. A partir de que cada rayo llega al receptor de la antena en diferente tiempo, cada generador de código en el receptor Rake tiene su fase dinámicamente ajustada para la correlación de los rayos que contienen la misma información de canal. El flujo de datos recuperados aparecen en las salidas de los mezcladores y posteriormente las señales resultantes son direccionadas a un combinador óptimo lineal.



**Figura 3.2.8.** Etapas del Receptor RAKE

Cada dedo o finger está constituido básicamente por tres etapas:

- La etapa “ $p$ ” ajusta adecuadamente la fase de cada finger.
- La etapa “ $s$ ” realiza el proceso de despreading y correlación una vez que se ha ajustado la fase.
- La etapa “ $\alpha$ ” ecualiza el nivel de salida de cada finger.

El número de dedos del receptor Rake depende del perfil del canal y de la tasa de chip (a una mayor tasa de chip, se tienen más trayectorias de solución). Sin embargo, se necesita un número mayor de dedos en el receptor Rake para captar toda la energía del canal y mantener un buen desempeño. No obstante, el tener un número muy grande de dedos en el receptor Rake conduce a pérdidas por combinación.

### 3.2.1.3 Control de Potencia

Un control de potencia puede ser el más importante aspecto en WCDMA, principalmente en el uplink. En la figura 3.2.7 se observa que los usuarios están situados a diferentes distancias de la estación base, teniendo por lo tanto 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 3.2.9.** 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. El control de potencia debe tener tres características: exactitud, rapidez para compensar los desvanecimientos (fast fadings), 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 Power Control)*: se realiza en los dos enlaces. En el uplink el Nodo B realiza una estimación de potencia basándose en el parámetro Relación Señal a Interferencia (SIR Signal to Interference Ratio), es decir, realiza una comparación entre la SIR recibida y la SIR estimada. Si la SIR recibida es más grande que la SIR estimada, la estación base comandará a la estación móvil a transmitir con una potencia más baja; si la SIR es demasiado baja, entonces se le ordenará a la estación móvil a incrementar su potencia. Esta operación se realiza 1500 veces por segundo y recibe el nombre de Inner Loop o también conocido como Control de Potencia Rápido (Fast Power Control). Por otro lado el RNC ajusta la referencia SIR en la estación base de acuerdo a las necesidades del enlace de radio, tomando en cuenta una constante de calidad (QoS), usualmente definida como la tasa de bit erróneo (BER Bit Error Rate) o la tasa de error de bloques (BLER BLock Error Rate); cada 10 ms el RNC calcula la SIR de acuerdo a la BER o BLER necesaria y ajusta la SIR objetivo enviándosela al Nodo B. A este proceso se le conoce con el nombre de Outer Loop y es controlado por la capa RRC (Radio Resource Control, ver capítulo 4).

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 ó SIR) fija (esta situación se da por ejemplo en el borde celular). En este caso el UE manda los bits TPC (Transmit Power Control, ver capítulo 4) al Nodo B en función de la SIR estimada y de la que tiene como objetivo.

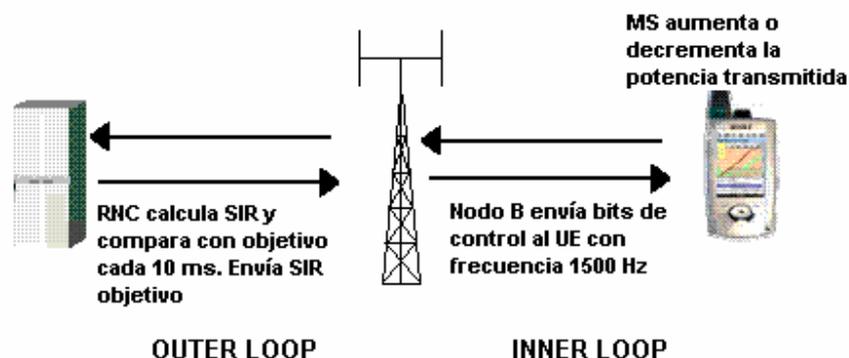


Figura 3.2.10. Control de Potencia en Bucle Cerrado

### 3.2.1.4 Softer Handover y Soft Handover

Un Nodo B es una estación de radio que da cobertura a los móviles. En general es sectorial con lo que una estación cubre tres células. Softer handover consiste en el traspaso de un UE entre sectores adyacentes pertenecientes a un mismo Nodo B. Los dos sectores utilizan las mismas frecuencias. La comunicación entre la estación móvil y la estación base ocurre vía dos enlaces de radio, uno para cada sector. Las dos señales (que en realidad son la misma pero con diferente código) son recibidas en la estación móvil mediante un procesamiento Rake similar a la recepción multitrayecto, excepto que los “fingers” necesitan generar el respectivo código para la operación apropiada de desensanchamiento (spreading).

En el enlace ascendente un proceso similar toma lugar en la estación base: la señal de la estación móvil es recibida en cada sector, que posteriormente es dirigida a un receptor Rake que capta la señal de ambos sectores. Durante softer handover solo un lazo de control de potencia (power control loop) es activado por conexión.

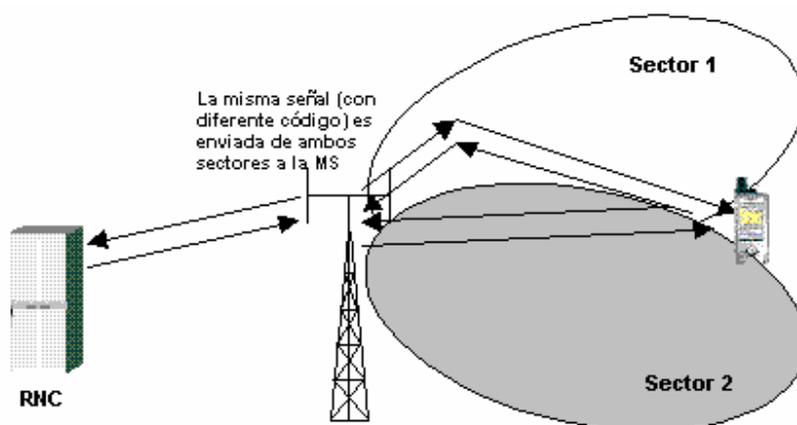


Figura 3.2.11. Softer Handover

Soft Handover permite realizar un traspaso de una MS de un sector a otro pertenecientes a diferentes Nodos B, 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. Al igual que en softer handover, se utilizan dos enlaces de radio entre los sectores de los diferentes Nodos B y la estación móvil. El proceso de detección en la MS es el mismo que en softer handover (utilización de la relación de combinación máxima mediante el procesamiento Rake). A diferencia de softer, en soft handover dos lazos de control de potencia están activos por conexión, además de que se utilizan técnicas de macrodiversidad que se realizan mediante dos funciones:

*Combinación (Combinig)*: consiste en combinar los bloques de transporte recibidos de las celdas que forman el active set (conjunto de estaciones base con las que el UE se encuentra conectado durante soft handover) en un solo 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.

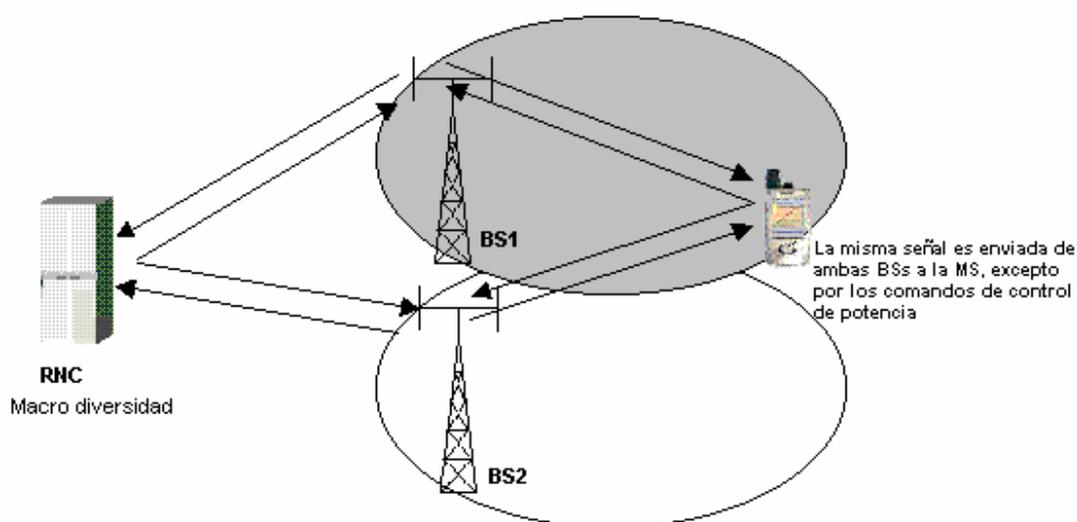


Figura 3.2.12. Soft Handover

Una de las ventajas de emplear Soft Handover (SHO) es que el usuario tiene garantizada una elevada calidad en la comunicación (porque es más robusto frente a interferencias). Por el contrario, se estima que durante el 40% del tiempo que se está realizando el proceso de SHO se está consumiendo un 20% extra de recursos de radio por el hecho de tener varios enlaces en el aire simultáneamente.

### 3.2.1.5 Hard Handover

Cuando se produce un traspaso de una celda a otra y se cambia la portadora, el modo de operación (FDD/TDD), el operador, el sistema (GSM) o no hay Iur (interfaz lógica que permite la ejecución de traspasos suaves) entre los RNCs que la controlan se produce un traspaso sin continuidad que se conoce con el nombre de Hard Handover.

En el sistema UMTS generalmente los tres tipos de handover (soft, softer y hard handovers) se contemplan dentro de una clasificación más particular como puede observarse en la tabla 3.2.1.

<b>Handover entre sistemas de 3<sup>a</sup> Generación</b>	<b>Intrafrecuencia</b>	Soft Handover
		Softer Handover
	<i>Interfrecuencia</i> (Hard Handover)	Traspaso entre células que utilizan frecuencias de portadoras distintas. Traspaso entre operadores / sistemas distintos de UTRA que utilizan frecuencias y/o modos diferentes FDD/FDD, FDD/TDD y TDD/TDD.
<b>Handover entre sistemas de 2<sup>a</sup> y 3<sup>a</sup> Generación</b>	Handover con GSM (Hard Handover)	

**Tabla 3.2.1.** Clasificación de traspasos en el sistema UMTS

### 3.2.2 Componentes de UTRAN

Las siguientes características de UTRAN fueron tomadas como referencia para el diseño de su arquitectura, funciones y protocolos:

- El requerimiento que más ha impactado en el diseño de UTRAN ha sido el de soportar soft handover y los algoritmos específicos de WCDMA de Administración de los recursos de radio (RRM).
- Maximización de la compatibilidad en la conmutación de paquetes y en la conmutación por circuitos, con un protocolo de la interfaz aérea único y con el uso de la misma interfaz para la conexión de UTRAN hacia ambos dominios PS o CS de la Red Central (CN).
- Maximización de la compatibilidad con GSM en cuanto sea posible.
- Uso de transporte ATM como el principal mecanismo de transporte en UTRAN.

La Red de Acceso Radio proporciona la conexión entre los equipos de usuario (UE) y el Núcleo de Red (CN) su arquitectura está compuesta por un conjunto de Subsistemas de Red Radio (RNS, *Radio Network Subsystem*), los cuales están compuestos a su vez por un

Controlador de Red de Radio (RNC, *Radio Network Controller*) y uno o más Nodos B. A continuación se describen las funciones que se llevan a cabo en cada elemento.

### 3.2.2.1 Subsistemas de Red Radio (RNS)

Un RNS es una subred dentro de UTRAN y se compone de un Controlador de Red de Radio (RNC) y uno o más nodos B. Realiza la asignación y liberación de recursos de radio para permitir la comunicación con Estaciones Móviles (MSs) en una cierta área. La Red de acceso UTRAN está compuesta de uno o varios RNSs.

### 3.2.2.2 Controlador de Red Radio (RNC)

Se encarga del control general de los recursos radio proporcionados por uno o varios nodos B, sus principales funciones son: Gestionar los servicios portadores para los usuarios, gestionar y optimizar los recursos de la red de radio y controlar la movilidad en la red. Es equivalente a la BSC de GSM y juega distintos roles lógicos:

*CRNC (Controlling RNC)*: Es el RNC que controla al nodo B. Es el responsable del control de carga y de congestión de sus propias células, y también ejecuta el control de admisión y asignación de código para nuevos enlaces de radio que se establecerán en esas células.

Cuando se realizan traspasos con continuidad las técnicas de macrodiversidad / microdiversidad que permiten la comunicación simultánea de un móvil con varios nodos B o con varios sectores de un mismo nodo B son utilizadas y los RNCs involucrados pueden tener las siguientes funciones:

*SRNC (Serving RNC)*: Para un móvil el SRNC es el RNC que termina tanto el enlace Iu para el transporte de los datos del usuario como la correspondiente señalización RANAP de o hacia el CN. También termina la señalización de control de los recursos de radio (RRC) que es el protocolo de señalización entre el UE y UTRAN. Lleva a cabo el procesamiento de capa 2 de los datos de o hacia la interfaz de radio. Operaciones básicas de administración de los recursos de radio (RRM) como el mapeo de los parámetros de la portadora de acceso de radio dentro de los parámetros de los canales de transporte de la interfaz aérea, la decisión de handover, y el control de potencia (“outer loop power control”) se ejecutan en esta RNC. La SRNC puede también ser la CRNC de algún nodo B utilizado por el móvil para conectarse con UTRAN. Un UE que se encuentra conectado con UTRAN tiene solo un SRNC.

*DRNC (Drift RNC)*: Es un RNC distinto del SRNC que controla las células usadas por el móvil. En caso de ser necesario el DRNC puede llevar a cabo combinación y división para la macrodiversidad. El DRNC no realiza procesamiento de capa 2 (capa de enlace), pero enruta transparentemente entre las interfaces Iub e Iur. Un UE puede tener uno o más DRNCs.

La funcionalidad completa del RNC se puede clasificar en dos partes: Administración de los recursos de radio de UTRAN (RRM) y funciones de control. El RRM es una colección de algoritmos usados para garantizar la estabilidad de la ruta de radio y la Calidad de Servicio de las conexiones de radio compartiendo y administrando eficientemente los recursos de radio. Las funciones de control de UTRAN incluyen todas las funciones relacionadas con el establecimiento, mantenimiento y liberación de las portadoras de radio incluyendo las funciones de soporte para los algoritmos RRM.

Funciones del RRM:

- Control de potencia
- Control de handover
- Control de admisión
- Generación de códigos
- Administración de códigos

Funciones del control de UTRAN:

- Información de radiodifusión del sistema
- Administración de la portadora de radio
- Funciones de seguridad en UTRAN
- Administración del nivel de movilidad de UTRAN
- Manipulación de bases de datos
- Posicionamiento del UE

Los RNCs están constituidos por tres entidades lógicas que son las siguientes:

- *CN (Control Node)*: Elemento encargado del procesado, básicamente es un nodo ATM que es responsable del procesado de las llamadas y la señalización.
- *IN (Interface Node)*: Proporciona la conectividad de la RNC en el plano de usuario.
- *AN (Access Node)*: Proporciona interfaces E1 para el Iub.

### 3.2.2.3 Nodo B

Está localizado entre la interfaz Uu y la interfaz entre los nodos B y los RNC (Iub), es responsable de la transmisión y recepción radio en una o más células hacia o desde el equipo de usuario (UE). Las funciones que realiza principalmente están relacionadas con el nivel físico (codificación de canal, modulación, spreading, técnicas de recepción -receptor RAKE-, entre otras) pero también realiza algunas operaciones básicas de administración de los recursos de radio (RRM) como el control de potencia (“inner loop power control”) o la ejecución del softer handover. Puede soportar el modo FDD, el modo TDD, o una operación en modo dual. De manera lógica corresponde a la estación base (BTS) de GSM. Es una estación que da cobertura a los móviles y es sectorial porque una estación cubre 3 células.

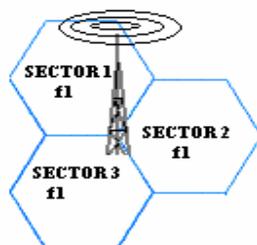


Figura 3.2.13. Sectorización de un nodo B

La estructura interna de un nodo B es dependiente de fabricante, pero la estructura lógica es genérica y desde el punto de vista de la red el nodo B puede dividirse en las siguientes entidades lógicas: Desde el punto de vista de la interfaz Iub un nodo B es un conjunto de dos entidades, transporte común y un número de puntos de terminación de tráfico (TTP, Traffic Termination Points). El transporte común representa los canales de transporte que son comunes a todos los UE en la célula y aquellos usados para el acceso inicial, esta entidad contiene un puerto de control utilizado para propósitos de operación y mantenimiento (O&M). El TTP consiste de un número de recursos dedicados que se requieren cuando el UE está en modo dedicado (lo que se conoce como contextos de comunicación). Desde el punto de vista de la red de radio y su control los nodos B consisten de muchas otras entidades lógicas denominadas células cada una de las cuales tiene su propio código scrambling y su propio identificador (ID), por medio de las cuales se realiza la transmisión y recepción desde o hacia el UE.

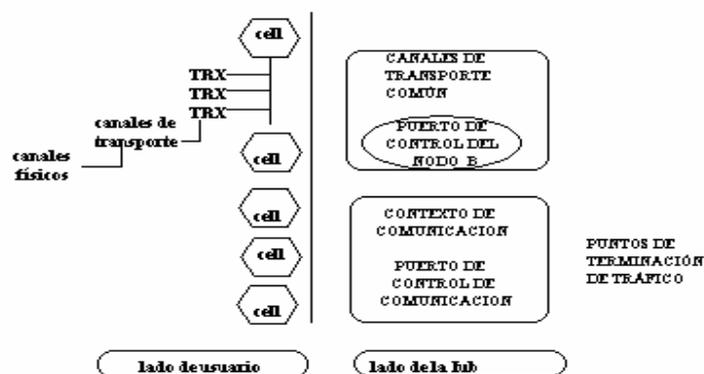


Figura 3.2.14. Estructura lógica de un nodo B

### 3.2.2.4 Interfases

Los elementos funcionales mencionados con anterioridad se comunican entre sí por medio de las siguientes interfaces que se pueden clasificar como internas o externas: Dentro de las primeras tenemos:

**Interfaz Iub:** Conecta un nodo B y una RNC. Permite el transporte de las tramas de radio desde el UE hasta el RNC. Utiliza el protocolo NBAP de señalización. UMTS es el primer

sistema comercial de telefonía móvil en el cual la interfaz entre la estación base y el equipo móvil es estandarizada como una interfaz abierta, por lo que se tiene la expectativa de una mayor competencia entre los fabricantes en esta área.

**Interfaz Iur:** Permite la ejecución de traspasos suaves entre RNCs de diferentes fabricantes y complementa la interfaz Iu.

En las externas tenemos:

**Interfaz Uu:** Es la interfaz de radio de WCDMA, mediante ella el Equipo de usuario (UE) tiene acceso a la parte fija del sistema por lo cual es la más importante en UMTS. Se encuentra entre el móvil y el nodo B y está basada en la tecnología CDMA.

**Interfaz Iu:** Conecta UTRAN con el CN. Se encuentra entre el RNC y el MSC (Iu-CS) o SGSN (Iu-PS). El protocolo de señalización que utiliza es el RANAP. Es una interfaz que da a los operadores de UMTS la posibilidad de adquirir UTRAN y el CN de diferentes fabricantes.

Los estándares en UMTS están estructurados de forma tal que la funcionalidad interna de los elementos de la red no están especificadas en detalle, sin embargo las interfaces entre los elementos lógicos de la red si se han definido y las principales interfaces abiertas son las anteriores.

### **3.2.3 Red de Transporte**

La Red de Transporte proporciona las facilidades de transporte y ruteo de tráfico de control y de usuario a través de las interfaces de UMTS. La capa física de la interfaz de radio de UMTS se basa en la tecnología WCDMA y el propósito del protocolo de ésta capa es proporcionar a las capas superiores un número de canales de transporte WCDMA. Sobre las interfaces terrestres la capa física puede formarse usando las tecnologías de transmisión digital de propósito general como SDH o PDH. Aunque existen otras muchas alternativas en redes de transmisión en general cualquier sistema de transmisión capaz de proporcionar un flujo de bits estable con un adecuado ancho de banda puede ser utilizado pero a pesar de que SDH y PDH son las alternativas más obvias para ser utilizadas tienen la desventaja de que están basadas en estándares industriales.

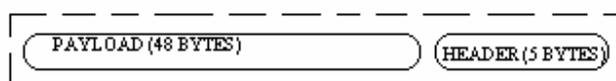
Por lo anterior, la edición 99 que propone 3GPP sugiere que ATM sea utilizada especialmente en las interfaces de UTRAN del protocolo de la red de transporte, la otra alternativa reconocida parcialmente en la misma edición de UMTS es el uso de IP situado sobre las interfaces terrestres y que podría ser estandarizado en futuras ediciones (4 ó 5) en el dominio PS en el lado de la CN. Dentro del dominio CN CS la red de transporte continuará basándose en la red troncal PCM.

Con el fin de hacer los protocolos de ATM e IP adecuados para la red de transporte de UMTS, ambos han necesitado algunas adaptaciones comparándolos con su uso en sus ambientes de red nativos. En el caso de ATM esas adaptaciones en su mayoría tienen que

ver con la capacidad de la transmisión de conversaciones de voz mientras que el protocolo IP se ha extendido para cumplir con los requerimientos de multiplexación de los datos de usuario y transporte de señalización.

### ATM

Básicamente ATM divide el flujo de información a transmitirse en piezas pequeñas denominadas paquetes a las cuales les adjunta una etiqueta de dirección a esos paquetes y transfiere esos paquetes a través de la ruta de transmisión física. El receptor final recolecta los paquetes recibidos y forma con ellos la información original. La información transmitida que contienen los paquetes se denomina celda ATM y continuación se presenta su estructura.



**Figura 3.2.15.** Estructura de una celda de ATM

En el header se encuentra la información de direccionamiento y en el payload la información transmitida. En ésta tecnología de transmisión no se envía una gran cantidad de información extra para proteger la celda con métodos de verificación, sin embargo esto se compensa porque en nuestros días las redes de transmisión que portan en tráfico de ATM son de una gran calidad y las terminales utilizadas están habilitadas para llevar a cabo funciones de protección de errores por sí mismas si se requiere.

Cuenta con las siguientes capas de adaptación:

AAL1: Ofrece modo síncrono conexión orientada a conexión y una tasa de bits constante para los servicios que requieren este tipo de adaptación.

AAL2: Ofrece modo síncrono, conexión orientada a conexión con tasa de bits variable para el servicio que la está utilizando.

AAL3/4: Ofrece conexión no orientada a conexión y conexión asíncrona con tasa de bits variable.

ALL5: Ofrece modo asíncrono, conexión orientada a conexión con tasa de bits variable.

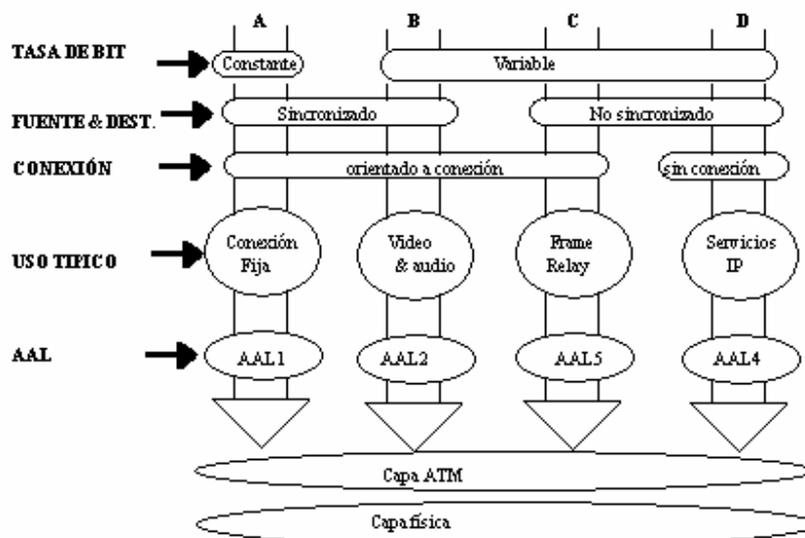


Figura 3.2.16. Capas de adaptación de ATM

Desde el punto de vista de la red de transporte de UMTS, AAL2 y AAL5 son las alternativas más interesantes. En seguida se define una lista detallada de las variantes en las diferentes interfaces de UTRAN:

AAL5	Iu: Plano de control CS, planos de control y de usuario PS, plano de control interno de la red de transporte. Iur: Plano de control, plano de control interno de la red de transporte. Iub: Plano de control, plano de control interno de la red de transporte.
AAL2	Iu: Plano de usuario CS Iur: Plano de usuario Iub: Plano de usuario

Tabla 3.2.2. Capas de ATM usadas en las interfaces de UTRAN

### 3.2.4 Sistema de control de acceso

Para tener acceso a los servicios los equipos de los abonados deben conectarse a la red UMTS y puede ser que el acceso al sistema sea iniciado por el móvil (cuando el móvil inicia la llamada) o por la red (cuando el móvil termina la llamada), a continuación se describen las funciones principales del sistema de control de acceso.

*Control de Admisión:* Se encarga de admitir o rechazar nuevos usuarios, nuevas portadoras o nuevos enlaces que resultan del funcionamiento mismo de la red con el fin de evitar sobrecargas. Basa sus decisiones en la medición de parámetros como la interferencia. También funciona durante el acceso inicial del UE, asignación y reconfiguración de la RAB (Radio Access Bearer) y el handover dependiendo del evento requerido. Sus funciones

dependen de la información localizada en el CRNC (Controlling RNC) sobre interferencia de UL y potencia de DL.

*Control de congestión:* Detecta y controla situaciones en las que el sistema alcanza la sobrecarga o está a punto de llegar a esta mientras que los usuarios permanecen conectados. Cuando en algún lugar de la red los recursos son limitados y degradan la calidad de servicio el control de congestión restaura la estabilidad del sistema. Para ello realiza acciones sobre el control de potencia, reduce la tasa de tráfico o de paquetes de datos o realiza el traspaso a otras portadoras UMTS o GSM.

### 3.2.5 Codificador de voz AMR (Adaptative Multi-rate)

El codificador de voz en UMTS emplea la técnica Multi-tasa Adaptativa (AMR, Adaptative Multi-rate) lo que hace que cuente con 8 tasas de bits distintas desde 4.75 kbits/s hasta 12.2 kbits/s a diferencia del codificador de voz de GSM cuya tasa de bits es fija. Las tasas de bits del AMR pueden controlarse por la Red de Acceso de Radio y para facilitar la interoperabilidad con las redes existentes, algunos de los modos son iguales a los de las redes celulares existentes, por ejemplo el codificador de voz AMR de 12.2 kbps es igual al codificador GSM EFR (GSM Enhanced Full Rate) y el de 7.4 kbps es igual al codificador de US-TDMA. El codificador de voz AMR es capaz de conmutar su tasa de bit cada frame de voz de 20 ms.

El codificador AMR opera sobre frames de voz de 20 ms correspondientes a 160 muestras a la frecuencia de muestreo de 8000 muestras por segundo. El esquema de codificación multi-tasa es también llamado MR-ACELP (Algebraic Code Excited Linear Prediction). Cada 160 muestras de voz, la señal de voz es analizada para extraer los parámetros del modelo del CELP.

Durante una conversación normal los participantes alternan de modo tal que en promedio cada dirección de transmisión se ocupa el 50% del tiempo. El AMR tiene tres funciones básicas para utilizar efectivamente la actividad discontinua:

- Detector de Actividad de voz (VAD) en el lado de la TX.
- Evaluación del ruido acústico del medio en el lado de la TX, para poder transmitir los parámetros característicos hacia el lado de la RX.
- La transmisión información de confort de ruido hacia el lado de la RX se lleva a cabo por medio del Descriptor de silencio (SID) que se envía en intervalos regulares.
- La generación de confort de ruido en el lado de la RX durante periodos en los que frames de voz no normales se reciben.

La tasa de bit de la conexión del codificador de voz puede controlarse por la Red de Acceso por Radio dependiendo de la carga de la interfaz aérea y la calidad de las conexiones de voz. Durante horas de tráfico es posible utilizar bajas tasas de bits del AMR para ofrecer una capacidad más alta aunque se proporcione una escasa calidad de servicio.

También si el móvil está saliendo del área de cobertura de la célula y está usando su máxima transmisión de potencia una tasa de bits del AMR menor puede utilizarse para extender la cobertura de la célula.

En el enlace descendente: Se lleva a cabo un cambio en la tasa de acuerdo con la carga o cuando hay una mala calidad de conexión.

En el enlace ascendente: Se realiza un cambio de tasa si hay necesidad de extender el área de cobertura para voz, o cuando la carga media en la interfaz aire supera el nivel aceptable.

### **3.3 La Terminal UMTS**

La terminal UMTS es el elemento de red más visible del sistema UMTS para el usuario, por lo que éste ha sido considerado como el elemento que provee los servicios y aplicaciones para el usuario. Tanto la arquitectura como las funciones de la terminal están sujetas a estandarizaciones (3GPP), por lo que algunas de las descripciones que se presentan en esta sección están basadas en las especificaciones establecidas, y otras más sobre ciertas consideraciones necesarias.

#### **3.3.1 Arquitectura de la Terminal**

El equipo terminal móvil de UMTS de la interfaz de radio Uu vista desde la parte de usuario es oficialmente llamada Equipo de Usuario (UE User Equipment). El UE es responsable de las funciones de comunicación que son necesarias para el otro extremo de la interfaz Uu (UTRAN). La funcionalidad obligatoria de una terminal UMTS recae principalmente en la interacción entre la terminal y la red. Las siguientes funciones son consideradas obligatorias para todas las terminales UMTS:

- Una interfaz que comunique el equipo móvil (ME) con una tarjeta de circuitos integrados inteligente llamada Módulo de Identidad de Servicios de Usuario (USIM User Services Identity Module)
- Un proveedor de servicio con su respectivo registro en red.
- Actualización de lugar
- Un inalterable equipo de identificación (IMEI)
- Identificación básica de las capacidades de la terminal
- La terminal debe ser capaz de soportar llamadas de emergencia sin una USIM
- Soporte para la ejecución de algoritmos requeridos para la autenticación y encriptación.

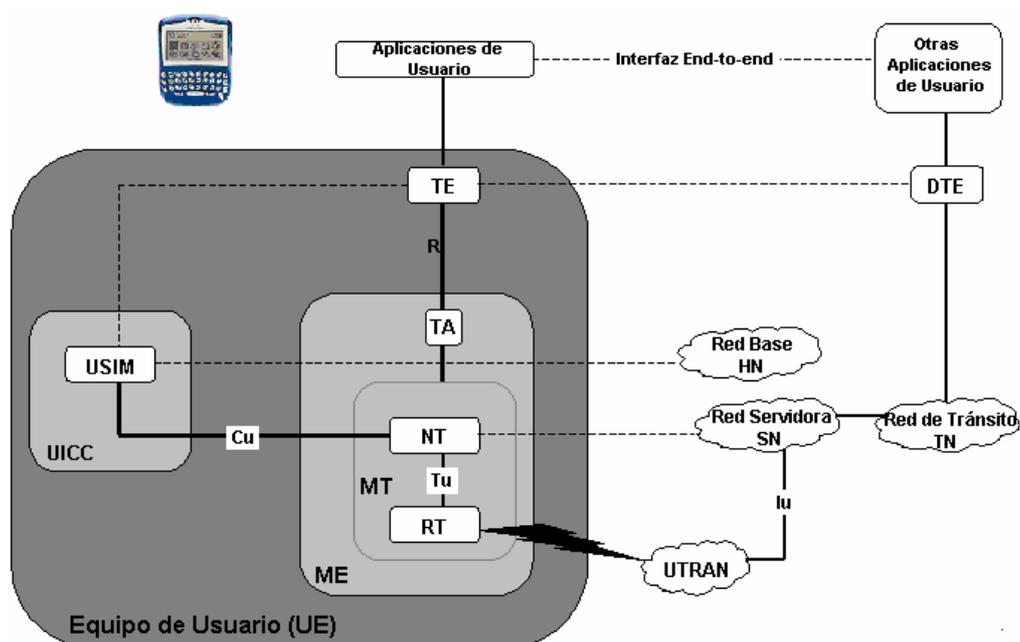
Además de estas funciones obligatorias, las cuales son esenciales para la operación de la red, la terminal UMTS podría también soportar las siguientes funcionalidades adicionales con el fin de facilitar una futura evolución:

- Capacidad para una interfaz de programación de aplicaciones (API Application Programming Interface)

- Un mecanismo para bajar servicios relacionados con información (parámetros, scripts, software, etc), nuevos protocolos, así como otras funciones como nuevas APIs dentro de la terminal.
- Mantenimiento del entorno propio virtual (VHE Virtual Home Enviroment) usando la misma interfaz de usuario y/o otras interfaces.
- Una inserción opcional de diversas tarjetas IC (Integrated Circuit)

En los sistemas móviles más sofisticados el UE es visto como un conjunto de módulos interconectados con un grupo independiente de funciones. Estos módulos pueden ser algunas veces físicamente implementados como partes separadas. La idea principal de subdividir el UE en varias partes es que tanto los subscriptores como los operadores pueden distribuir y/o adquirir separadamente estos módulos según sus necesidades. El concepto de los módulos en un UE explica la manufactura de las terminales multimodo/multired para la independencia interna de la tecnología de acceso de radio y del CN.

El UE básicamente consiste de el dominio de Equipo Móvil (ME, Mobile Equipment) y el dominio del Modulo de Identidad de Servicios de Usuario (USIM, User Services Identity Module).



**Figura 3.3.1** Arquitectura de referencia del Equipo de Usuario (UE)

- El USIM es la parte dependiente del usuario. La USIM es básicamente un concepto lógico y es físicamente implementada dentro de una tarjeta de circuitos integrados. Es una tarjeta inteligente extraíble que puede usarse en diferentes tipos de terminales que contiene los datos y procedimientos que la identifican de forma

segura y sin ambigüedad. Dicha tarjeta está asociada a un usuario que se puede identificar independientemente del ME usado; por tal motivo tanto UMTS como GSM soportan movilidad personal porque las llamadas van dirigidas a una identidad de un usuario y no de una terminal. La USIM es llamada también en algunos casos como la Tarjeta de Circuitos Integrados Universal (UICC Universal Integrated Circuit Card). La USIM básicamente contiene cinco tipos de datos:

- *Administrativo:* Tipo de datos asignado por el fabricante y el operador/proveedor de servicios, como lo son datos clave para los algoritmos de seguridad.
  - *Datos de red temporales:* Son datos cuya información sirve principalmente para la administración de movilidad, como el área de locación actual ID.
  - *Datos relacionados con los servicios:* Contienen información sobre la disponibilidad y permiso de los servicios de usuario.
  - *Datos de Aplicaciones:* Son datos que sirven para pequeñas aplicaciones necesitadas para algunos servicios específicos.
  - *Personales:* Cubren los datos enviados y/o creados por el usuario, como mensajes cortos, etc.
- El ME es la parte independiente del usuario, la cual consiste de diferentes módulos:
    - El Equipo Terminal TE (TE, Terminal Equipment) que contiene las aplicaciones extremo a extremo de usuario. La TE interacciona con la Terminal Móvil MT por medio de la función de Adaptación de Terminal (TA Terminal Adaptation) sobre el punto de referencia R como se muestra en la figura 3.3.1
    - La Terminal Móvil (MT, Mobile Termination) realiza las funciones relacionadas con la transmisión radio y servicios del sistema de red. Básicamente la MT es el dispositivo actual por sí solo (teléfono). Esta conformada por el NT y RT. El grupo funcional de Terminal de Red (NT Network Termination) es la parte dependiente del CN, utiliza una serie de protocolos de no acceso al estrato para la administración de movilidad (MM Mobility Management) y comunicación (CM Communication Management), por lo que el NT puede ser considerado como la terminal desde el punto de vista del CN. El grupo funcional de la Terminal de Radio (RT Radio Termination) está relacionado con la red de acceso de radio solamente, contiene todas las funciones comunes para todos los servicios usando la tecnología de acceso de radio, el RT usa protocolos de acceso al estrato como el Control de Acceso al Medio (MAC Medium Access Control), el Control del Enlace de Radio (RLC Radio Link Control) y el Control de Recursos de Radio (RRC Radio Resource Control); el RT puede ser considerado como la terminal desde el punto de vista de UTRAN. El punto de referencia Tu conecta a la NT con la RT

La interfaz eléctrica entre la tarjeta inteligente USIM y el ME es la Interfaz Cu, la cual sigue un formato estándar para tarjetas inteligentes.

### 3.3.2 Diferenciación de Terminales

La terminal UMTS tiene diversos requerimientos que no están necesariamente ligados los unos con los otros como se observa en la figura 3.3.2.



Figura 3.3.2. Factores para una diversidad de UE

Esto incrementa la complejidad del equipo cuyo efecto se reflejará en el precio. Tomando en cuenta lo anterior y junto con otros factores serán causa de una diferenciación entre terminales.

Una característica notable de la terminal 3G es que (aún en su forma más básica) tiene dos tipos de dominios de red disponibles: Conmutación por Paquetes (PS) y Conmutación por Circuitos (CS). Por lo tanto una primera clasificación viene dada por estos dos dominios:

- *Terminal con modo de operación PS/CS*, que será capaz de soportar servicios de ambos dominios.
- *Terminal con modo de operación PS*, que sólo proveerá servicios bajo el dominio de PS; aunque también podrá proporcionar servicios de CS implementados bajo PS como el servicio de Voz sobre IP (VoIP Voice over IP).
- *Terminal con modo de operación CS*, que proporcionará servicios bajo el dominio CS.

La separación de las funciones de la terminal de radio (RT) y la terminal de red (NT) en el UE permite la clasificación del equipo de usuario de acuerdo a la capacidad de la MT para usar diversas tecnologías de acceso y CN (Core Network):

- *MT con un simple modo de radio*: Puede utilizar solo un tipo de interfaz de radio para tráfico de usuario, como WCDMA-FDD.
- *MT multiradio*: Puede usar diversas terminaciones de radio para tráfico de usuario, como puede ser la capacidad para soportar UTRAN y GERAN simultáneamente.
- *MT con un simple modo de red*: Puede utilizar sólo un tipo de core network.
- *MT multired*: Es capaz de usar diversas core networks.

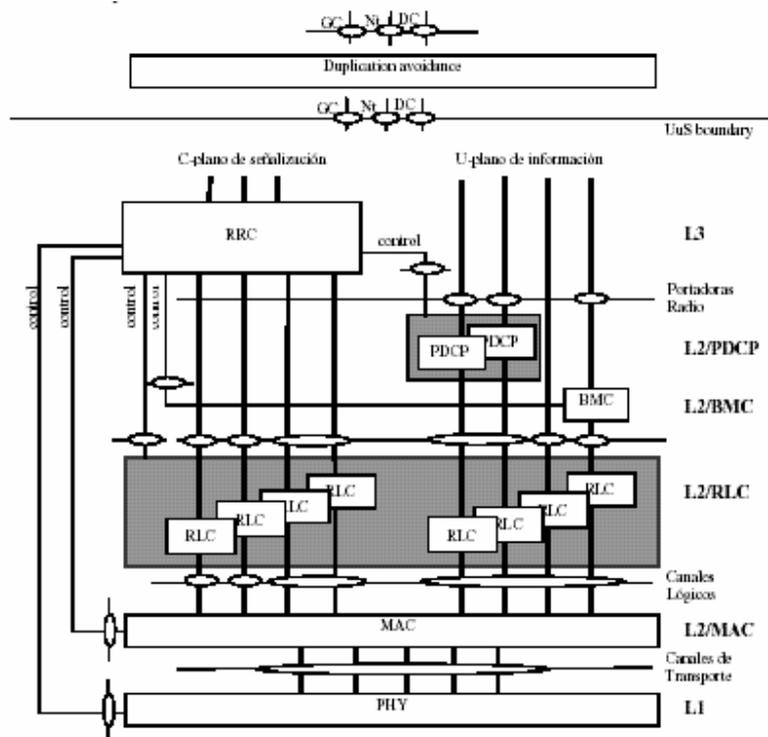
Existe también una posible segmentación de terminales de acuerdo a los servicios proporcionados para los usuarios. Esta clasificación no está regida por especificaciones, pero se ha hecho con las posibles necesidades de los usuarios, que en el caso real dependerá del precio de cada terminal y del principal uso que se le dé:

- *Terminal clásica*: Es equivalente al teléfono celular actual. Tiene características limitadas para los servicios por conmutación de circuitos, y soporta acceso de datos aunque a bajas velocidades (correspondería a una terminal GSM/GPRS). Soporta los accesos de radio de GSM y WCDMA pero no simultáneamente, en otras palabras implementa una “MT multired selectiva”.
- *Modo dual*: Este tipo de terminal contiene ambos accesos GSM y WCDMA, y puede seleccionar automáticamente el método de acceso dependiendo del área de cobertura disponible para el servicio requerido. Por ejemplo las llamadas de voz pueden ser típicamente conectadas a través de GSM, pero los servicios de datos y multimedia a través de WCDMA. Se considera una terminal que implementa una “MT multired simultánea”.
- *Terminal multimedia*: Este tipo de terminal podría incluirse dentro de las terminales modo dual, pero desde el punto de vista de red es una terminal más inteligente que realiza una multiplexación más óptima de los canales de radio de UTRAN para las llamadas multimedia.
- *Terminales especiales*: Estas terminales tienen otros propósitos especiales y generalmente estarán integradas con nuevas tecnologías de equipo.

## 4. ARQUITECTURA DE PROTOCOLOS DE LA INTERFAZ DE AIRE DE UTRAN

Los protocolos de la interfaz de aire se utilizan para establecer, reconfigurar y liberar los servicios portadores de radio. Este capítulo provee una vista panorámica de la arquitectura de la interfaz de radio de UTRAN FDD, la cual tiene un impacto directo sobre el proceso de planificación de la red de radio.

En la figura 4.0.1 se muestra la arquitectura de protocolos de la interfaz de radio válida tanto para el móvil como para la red.



**Figura 4.0.1** Arquitectura de protocolos de la interfaz de radio

La interfaz de radio consiste de tres capas de protocolos: la capa física (L1), la capa de enlace (L2) y la capa de red (L3). Estas 3 capas se relacionan con las capas bajas del modelo de comunicaciones OSI.

La capa física (L1) define cómo y con qué características se transmiten los datos sobre la interfaz de aire. La capa de enlace L2 se compone de cuatro subcapas: en el plano de control ó “Plano-C” que es usado para todas las señalizaciones de control específicas de UMTS se encuentran la subcapa MAC (Control de Acceso al Medio “Medium Access Control”) y la RLC (Control de Enlace de Radio “Radio Link Control”), en el plano de usuario ó “Plano-U” se transporta toda la información enviada y recibida por el usuario, como la voz codificada en una llamada de voz o los paquetes en la conexión de Internet y se localizan aquí los protocolos PDCP (Protocolo de Control de Información de Paquetes

“Packet Data Control Protocol”) y BMC (Protocolo de Control de Difusión “Broadcast / Multicast Control Protocol”). La capa L3 se divide en dos subcapas: la subcapa inferior RRC (que define el control de los recursos de radio “Radio Resource Control”) que pertenece al plano de control y se relaciona con L2, y la subcapa superior que es la capa de señalización perteneciente al CN y comprende: CC (Control de Conexiones o de llamadas “Connection Control”) y MM (Administración de Movilidad “Mobility Management”).

En la figura 4.0.1 cada bloque representa una instancia del correspondiente protocolo y los círculos los puntos de acceso al servicio (SAP Service Access Points). A través de las interfases de control el protocolo RRC controla y configura a las capas más bajas. La capa física trabaja con canales físicos y ofrece servicios en los SAPs 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 a través de los canales lógicos a la capa superior (RLC). En el plano de control, la interfaz entre RRC y las capas superiores L3 (CC, MM) se define por los SAPs de Control General (GC), Notificación (Nt) y de Control Dedicado (DC).

La estructura de este capítulo esta compuesta de la siguiente manera: en la sección 4.1 se atenderá lo correspondiente a la capa física, como los canales de transporte, los canales físicos, los códigos “spreading” y “scrambling” y algunas funciones esenciales de esta capa; en la sección 4.2 se analizan los canales lógicos y las funciones de los protocolos de la capa de enlace L2 y finalmente en la sección 4.3 se atiende al protocolo RRC perteneciente a la capa de red L3

## 4.1 Capa Física L1

La capa física define las características para la transmisión de los datos sobre la interfaz de aire. Para entender la capa física es necesario describir sus componentes como lo son los canales de transporte (los SAPs entre la MAC y la capa física) que explican el cómo y con que características se transporta la información de las capas superiores sobre la interfaz de radio; los canales físicos que son transmitidos en el aire y que vienen dados por frecuencia, código, etc. (cómo se transporta la información en el aire); y los códigos “spreading” y “scrambling” que son aplicados a los canales físicos. También es necesario entender algunas de las funciones que se realizan en la capa física, como se verá más adelante en esta sección.

### 4.1.1 Canales de Transporte

La capa física ofrece servicios de transporte de datos con las capas superiores. El acceso a estos servicios se realiza a través de los canales de transporte por medio de la subcapa MAC, por tal motivo los canales de transporte son considerados como los SAP (Puntos de Acceso a los Servicios) entre la MAC (Protocolo de Control de Acceso al Medio) y la capa física. Es decir, los datos generados en las capas superiores son portados sobre la interfaz de aire usando canales de transporte mapeados sobre diferentes canales físicos, para ello se intercambia entre la capa física (L1) y la MAC lo que se denomina como bloque de transporte.

Un UE (Equipo de Usuario) puede establecer varios canales de transporte simultáneamente, cada uno teniendo sus propias características de transporte (diferentes capacidades de corrección de errores, etc.). Además los canales de transporte son unidireccionales (enlace descendente o ascendente) por lo que un UE puede tener simultáneamente uno o varios canales de transporte en el enlace descendente y uno o más canales de transporte en el enlace ascendente.

Los canales de transporte se pueden dividir de la siguiente forma:

- *Canales comunes*

Un canal común es un recurso repartido entre todos los usuarios o grupos de usuarios en una célula, no soportan traspasos suaves, pero algunos de ellos pueden tener control de potencia rápido.

- *Canales dedicados*

Un canal dedicado por definición es un recurso dedicado para un simple usuario, identificado por un código y una cierta frecuencia.

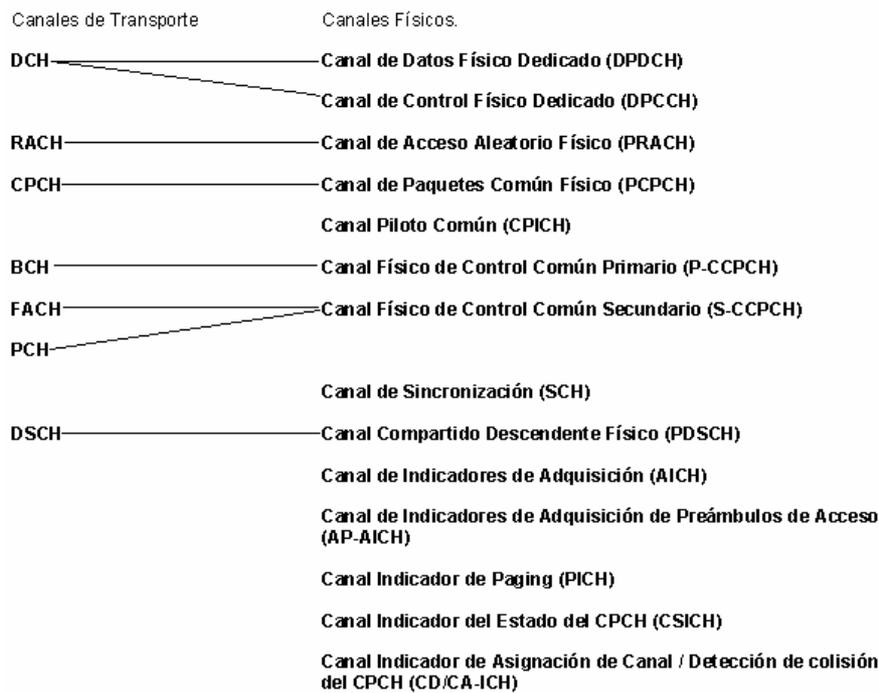
A continuación en la tabla 4.1.1 se presenta una descripción de los canales de transporte.

Canal de Transporte	Tipo y sentido	Uso
<b>DCH</b> Canal Dedicado (Dedicated Channel)	Dedicado UL / DL	Se utiliza para transportar toda la información relacionada con las capas superiores, incluyendo datos para el servicio actual (voz, datos, etc.) e información de control. Sus características principales son: puede ser transmitido sobre toda o parte de una célula, admite control de potencia rápido en bucle cerrado, soporta traspasos suaves, posibilidad de usar sincronización en el enlace ascendente, posibilidad de cambiar la tasa de bits de forma rápida de una trama a otra (cada 10 ms).
<b>BCH</b> Canal de Difusión (Broadcast Channel)	Común DL	Se usa para difundir información de control del sistema (códigos, slots de acceso en la celda, tipo de métodos de diversidad en la célula, etc.). Como las terminales no pueden registrarse en la célula sin la decodificación del canal de difusión, este canal debe transmitirse con una potencia elevada con el fin de hallar todos los usuarios dentro del área de cobertura. Tiene una tasa baja y fija (velocidad cte.)
<b>PCH</b> Canal de Paging (Paging Channel)	Común DL	Se utiliza para transmitir toda la información de control relacionada con el procedimiento de voceo "paging" (cuando la red desea establecer una comunicación con la terminal). Un mensaje de paging idéntico puede ser transmitido en una o varias células, dependiendo de la configuración del sistema. Si se definen varios PCHs en una celda, el móvil selecciona uno dependiendo de su IMSI. Las terminales deben de recibir la información de paging en toda la celda.
<b>FACH</b> Canal de Acceso Directo (Forward Access Channel)	Común DL	Se utiliza para transportar información de control a las terminales localizadas en una célula dada; es usado para transmitir paquetes de datos cortos, para responder a un acceso aleatorio (RACH, CPCH), para dar información relativa a un servicio y de un canal físico. Su tasa de bits es baja para que pueda ser decodificado por todas las terminales en la celda. No usa control de potencia 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).
<b>DSCH</b> Canal Compartido Descendente (Downlink Shared Channel)	Común DL	Se utiliza para transportar datos de usuario dedicados y / o información de control que puede ser compartida por varios usuarios. Es similar al FACH, sólo que el DSCH soporta control de potencia rápido. Este canal está siempre asociado con un canal descendente DCH y presenta la posibilidad de variar su tasa de bits de una trama a otra.
<b>RACH</b> Canal de Acceso Aleatorio (Random Access Channel)	Común UL	Se utiliza para transportar información de control y peticiones de acceso desde la terminal (solicitar el establecimiento de una conexión). Puede usarse para enviar pequeñas cantidades de paquetes de datos desde la terminal a la red. Este canal debe ser escuchado por la estación base desde cualquier punto del área de cobertura por lo que las tasas de datos deben ser bajas. Se caracteriza por soportar control de potencia en bucle abierto y estar sometido a colisiones.
<b>CPCH</b> Canal de paquetes común (Common Packet Channel)	Común UL	Es una extensión del RACH y se utiliza para transportar ráfagas de tráfico, transporta paquetes de datos de usuario de tamaño corto o medio. Siempre va asociado con un canal descendente (generalmente el FACH) para el control de potencia y los comandos de control para este canal. A diferencia del RACH, el CPCH usa control de potencia rápido y cuenta con un mecanismo de detección de colisiones.

**Tabla 4.1.1** Canales de Transporte

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

Para cada canal de transporte se tiene un Formato de Transporte asociado (para canales de transporte con una tasa de transmisión constante o que cambia lentamente) o un Conjunto de Formatos de Transporte (para canales de transporte con tasa de transmisión que cambia rápidamente). Un Formato de Transporte se define como la combinación de codificación, “interleaving”, tasa de bits y mapeo en canales físicos. En la figura siguiente se muestra el mapeo de los canales de transporte en los canales físicos.



**Figura 4.1.2** Mapeo de los canales de transporte sobre los canales físicos

#### 4.1.2 Canales Físicos

Un canal físico es identificado por la frecuencia de la portadora, el código “scrambling” utilizado, el código de canalización (opcional), duración y fase relativa.

La estructura de los canales físicos consiste de una secuencia de tramas de radio, cada trama de radio correspondiente tiene una duración de 10 ms (38, 400 chips) y se divide en 15 intervalos de tiempo (slots). Un slot o intervalo de tiempo es una unidad que lleva campos con bits (que en realidad son símbolos debido a la modulación banda base) y que tiene una duración de  $2/3$  ms = 0.667 ms (el cual es igual al periodo del control de potencia rápido) lo que corresponde a 2560 chips.

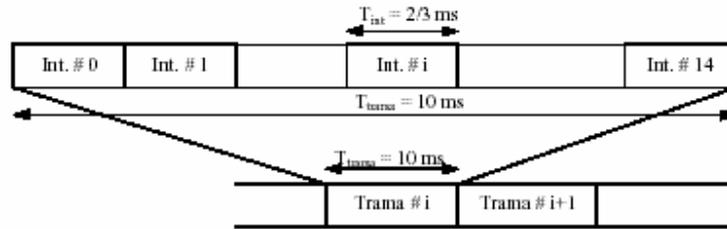


Figura 4.1.3 Estructura de la trama de radio de un canal físico

#### 4.1.2.1 Canales Físicos Ascendentes Dedicados

Canal Físico	Tipo y sentido	Uso
<b>DPDCH</b> Canal de Datos Físico Dedicado (Dedicated Physical Data Channel)	Dedicado UL	Transporta la información de las capas superiores (como datos del usuario), transporta la información del DCH. Puede tener un factor de esparcimiento de 256 (en un solo canal se tienen 10 símbolos de 256 chips, lo que equivale a una tasa de 15 kbps) a 4 (640 símbolos de 4 chips en un canal, para una tasa de símbolos de 960 kbps).
<b>DPCCH</b> Canal de Control Físico Dedicado (Dedicated Physical Control Channel)	Dedicado UL	La información de control y de señalización generada en la capa L1 es mapeada sobre este canal. Comprende símbolos predefinidos de piloto (usados para la estimación de canal y la detección coherente), comandos para el control de potencia de transmisión (TPC "Transmit Power Control") que son utilizados por el emisor en el algoritmo de control de potencia y sirve para indicar su incremento o decremento, información de retroalimentación (FBI "Feedback Information") para las técnicas de diversidad de transmisión y selección de sitio en base al estado de la señal, y un indicador opcional de combinación de formatos de transporte (TFCI).

Tabla 4.1.2 Canales Físicos Ascendentes Dedicados

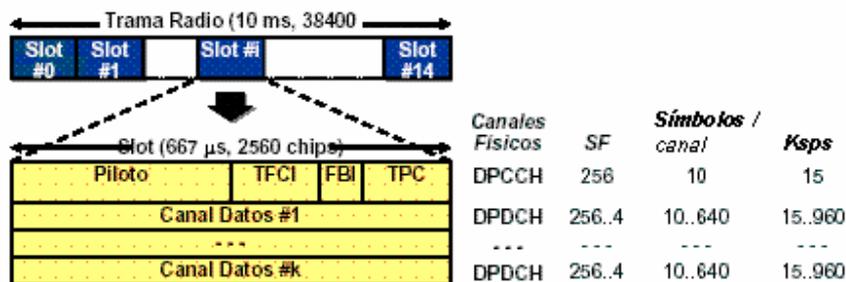


Figura 4.1.4 Estructura de los Canales Físicos Ascendentes Dedicados

Para la modulación, el canal DPDCH y el canal DPCCH son transmitidos independientemente sobre las componentes del modulador I/Q (en fase y en cuadratura). Los dos flujos de datos son multiplicados por dos diferentes secuencias de esparcimiento (códigos) con un factor de esparcimiento diferente. El factor de esparcimiento para el DPCCH es siempre 256, mientras que para el canal DPDCH varía de acuerdo con la tasa de datos. El DPCCH es entonces multiplicado con un factor de ganancia (menor de uno) con el fin de reducir la interferencia generada sobre el canal DPDCH.

### 4.1.2.2 Canal Físico Descendente Dedicado

Canal Físico	Tipo y sentido	Uso
<b>DPCH</b> Canal Físico Descendente Dedicado (Downlink Dedicated Physical Channel)	Dedicado DL	Esta compuesto de un DPDCH descendente y un DPCCH descendente multiplexados en el tiempo. La información de control es llevada sobre el DPCCH compuesto por los bits TPC (control de potencia de transmisión), TFCI (indicador de combinación de formatos de transporte) y los bits de piloto. Los datos de usuario se transmiten a través del DPDCH, el cual puede tener cinco símbolos para un factor de espaciamiento de 512 (7.5 kbps) hasta 640 símbolos para un factor de espaciamiento de 4 (960 kbps).

Tabla 4.1.3 Canal Físico Descendente Dedicado

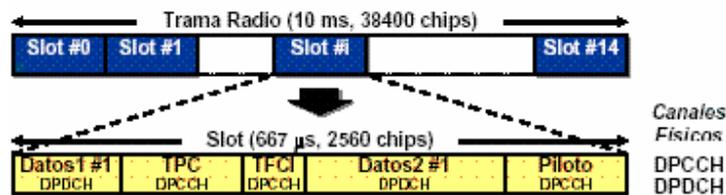


Figura 4.1.5 Estructura del Canal Físico Descendente Dedicado

En el caso de la modulación, el flujo de datos obtenidos de la multiplexación en el tiempo de los canales DPDCH y DPCCH es dividido entre las dos componentes del modulador I/Q. Posteriormente ambos (I/Q) son multiplicados por una misma secuencia de espaciamiento (código) y transmitidos.

### 4.1.2.3 Canales Físicos Comunes

Los canales físicos comunes para el enlace ascendente son el PRACH y el PCPCH, mientras que para el enlace descendente los principales son el CPICH, P-CCPCH, S-CCPH, SCH, PDSCH, AICH, PICH y CSICH. Las funciones y características principales de cada uno se visualizan en la tabla 4.1.2.

Canal de Transporte	Tipo y sentido	Uso
<b>PRACH</b> Canal de Acceso Aleatorio Físico (Physical Random Access Channel)	Común UL	Consiste de dos partes, una parte de datos donde el canal de transporte RACH es mapeado y una parte de control donde la información de control de la capa L1 es transportada. La parte de datos y de control son transmitidas en paralelo. Los factores de espaciamiento de la parte de datos son 256, 128, 64 y 32. La parte de control consiste de bits piloto y de TFCI, y tiene un factor de espaciamiento de 256.
<b>PCPCH</b> Canal de Paquetes Común Físico (Physical Common Packet Channel)	Común UL	Es usado para portar al canal de transporte CPCH. Para la parte de datos del PCPCH los factores de espaciamiento pueden variar de 4 a 256, mientras que la parte de control tiene un factor de espaciamiento de 256.

Canal de Transporte	Tipo y sentido	Uso
<b>CPICH</b> Canal de Piloto Común (Common Pilot Channel)	Común <b>UL</b>	Es un canal que no está modulado y sirve de referencia de fase para los demás canales físicos. Hay dos tipos de canales de CPICH, el primario (P-CPICH) y el secundario (S-CPICH). Hay un canal P-CPICH por célula y es difundido sobre toda la entidad de la misma; es la referencia de fase para el SCH, P-CCPCH, AICH, PICH, DL-DPCCH, PCPCH, S-CCPCH. El S-CPICH es un canal que se transmite en toda o parte de una célula y puede ser más de uno, se utiliza en caso de que no se use el P-CPICH.
<b>P-CCPCH</b> Canal Físico de Control Común Primario (Primary Common Control Physical Channel)	Común <b>UL</b>	Es usado para transportar el canal de transporte BCH. Es un canal puro de datos y es difundido sobre la entidad de la célula.
<b>S-CCPCH</b> Canal Físico de Control Común Secundario (Secondary Common Control Physical Channel)	Común <b>UL</b>	El S-CCPCH es usado para portar al FACH y PCH, los cuales pueden ser mapeados sobre un mismo S-CCPCH o separados. El S-CCPCH soporta múltiples combinaciones de formatos de transporte usando el TFCI y sólo está disponible en el aire si hay datos que transmitir.
<b>SCH</b> Canal de Sincronización (Synchronization Channel)	Común <b>UL</b>	Es un canal físico utilizado para el procedimiento de la búsqueda de celda.
<b>PDSCH</b> Canal Compartido Descendente Dedicado (Physical Downlink Shared Channel)	Común <b>UL</b>	Es usado para portar el canal de transporte DSCH.
<b>AICH</b> Canal de Indicadores de Adquisición (Acquisition Indication Channel)	Común <b>UL</b>	Es usado para informar a la terminal móvil que hay un mensaje sobre el canal FACH en respuesta a un intento de acceso.
<b>PICH</b> Canal de Indicadores de Paging (Paging Indication Channel)	Común <b>UL</b>	Es usado para informar a la terminal móvil que hay un mensaje sobre el canal PCH
<b>CSICH</b> Canal Indicador del Estado del CPCH (CPCH Status Indication Channel)	Común <b>UL</b>	Indicación del estado del CPCH

**Tabla 4.1.4** Canales Físicos Comunes

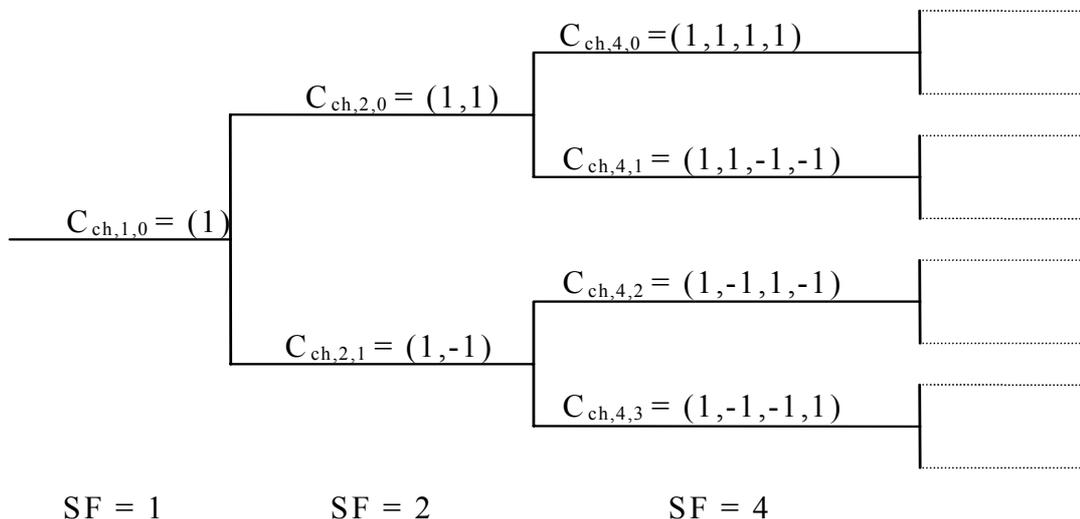
### 4.1.3 Códigos Spreading y Scrambling

#### 4.1.3.1 Códigos de canalización (Spreading)

Con el fin de transmitir señales con una tasa de bits original variable es necesario utilizar secuencias de spreading con longitud variable para mantener la tasa de chip constante e igual a 3.84 Mchip/s. El rango sobre el cual ésta longitud puede variar para el

modo FDD va desde un mínimo de 4 hasta un máximo de 512. Para reducir el nivel de interferencia cada señal transmitida debe estar asociada con una secuencia que es ortogonal a las otras que ya han sido asignadas. Esto puede efectuarse adoptando una asignación de secuencia basada en una estructura de árbol como se mencionará más adelante, en donde las secuencias localizadas en la misma rama son generadas de una misma raíz.

Los códigos de canalización son utilizados para separar las señales transmitidas desde un mismo transmisor, como pueden ser las conexiones en el enlace descendente con un sector o los canales físicos dedicados en el enlace ascendente desde una terminal. En UTRAN éstos códigos están basados en el Factor de spreading variable ortogonal (OVVSF) lo que permite que el factor de spreading (número de chips por símbolo) pueda cambiarse manteniendo la ortogonalidad entre diferentes códigos de spreading. Los códigos de canalización pueden obtenerse del árbol que se muestra en la figura 4.1.6 Las secuencias de igual longitud y aquellas que difieren en longitud pero que son generadas por diferentes raíces del árbol son ortogonales entre sí.



**Figura 4.1.6** Inicio del árbol para generación de los códigos de canalización

Cuando una conexión utiliza un factor de spreading variable, el uso apropiado del árbol anterior permite el despreading de acuerdo con el menor factor de spreading y requiere únicamente que los códigos de canalización sean usados de la misma rama que utiliza el de menor factor de spreading.

Como el número de secuencias disponible limita el número de transmisiones simultáneas es necesario garantizar que las secuencias son administradas cuidadosamente, en general la ubicación de las secuencias de varias señales debe ser revisada con una cierta frecuencia para optimizar la utilización de los recursos y por lo tanto la capacidad.

### 4.1.3.2 Códigos de scrambling

Adicionalmente al proceso de ensanchamiento de la señal “spreading” en el transmisor se realiza también una operación de scrambling utilizada para separar equipos de usuario o nodos B unos de otros. Esta operación se lleva a cabo en la parte final del spreading y no cambia el ancho de banda de la señal pero sí hace que las señales provenientes de diferentes transmisores puedan ser separadas. Con este proceso no hay problema si el mismo código de spreading es utilizado en varios transmisores.

A continuación se mencionan la funcionalidad y características de cada uno de éstos códigos:

Características	Canalización	Scrambling
Uso	En el enlace ascendente para separar los canales físicos de datos de los de control de una misma terminal.  En el enlace descendente para separar diferentes usuarios dentro de una célula.	En el enlace ascendente para separar una terminal de las demás.  En el enlace descendente para separación entre sectores.
Longitud	4-256 chips para 1-66.7µs en el enlace descendente también 512 chips	Enlace ascendente: 10ms=38400chips 66.7 µs=256 chips enlace descendente: 10ms=38400chips
Spreading	Incrementa el ancho de banda de transmisión	No afecta el ancho de banda de transmisión.

**Tabla 4.1.5** Características de los códigos

### 4.1.4 Funciones de la Capa Física L1

#### Procesamiento de los Canales Físicos

Cada canal tiene un procesamiento 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.
- 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 mayor.

### **Modulación**

En la componente FDD se utilizan 2 tipos diferentes de esquemas de modulación uno para el enlace ascendente y otra para el enlace descendente:

En el enlace descendente se utiliza la clásica modulación QPSK. Los datos obtenidos mediante la multiplexación por división de tiempo de los canales DPDCH y el DPCCH se divide en las dos componentes del modulador (en fase y en cuadratura), las dos cadenas resultantes después de multiplican por la secuencia de spreading y son transmitidas.

En el enlace ascendente se utiliza una modulación digital BPSK de código dual. En este caso los canales DPCCH y el DPDCH se transmiten independientemente de las componentes I y Q del modulador. Las dos cadenas de datos se multiplican por dos diferentes secuencias de spreading ( $C_I$  y  $C_Q$ ) con un factor de spreading diferente en general.

El factor de spreading del canal DPCCH es siempre 256, mientras que el del canal DPDCH varía de acuerdo con la tasa de bits. El DPCCH se multiplica entonces por un factor de ganancia con el fin de reducir la interferencia generada en el DPDCH y las fluctuaciones de la envolvente de la señal transmitida. La principal diferencia entre los dos enlaces es que el DPCCH se transmite en diferentes formas: en el enlace descendente se multiplexa con el DPDCH utilizando técnicas de división de tiempo mientras que en el uplink se transmite como si fuera un canal independiente. Esta diferencia se asocia con el hecho de que en el evento de transmisión discontinua la onda cuadrada generada en el enlace ascendente puede causar interferencia dentro de la banda audible como ocurre en GSM. Con esta solución la señal transmitida nunca se interrumpe, también hay menos problemas de compatibilidad electromagnética.

### **Control de potencia en bucle cerrado rápido**

Es un procedimiento necesario en los sistemas basados en WCDMA debido al efecto cerca-lejos que se presenta en el enlace de subida debido a que la intensidad de la señal recibida de los móviles cercanos a la estación base (Nodo B) es mayor a la de los móviles que se encuentran lejos si todos los móviles transmiten a la misma potencia. Esta función opera en una base de un comando por slot, resultando en una tasa de comando de 1500Hz.

### **Control de potencia de lazo abierto**

Se utiliza antes de iniciar la transmisión en el RACH o CPCH, éste control de potencia no es muy preciso debido a que es difícil medir la potencia dinámica en el equipo terminal. El mapeo entre la potencia absoluta recibida y la potencia absoluta a ser transmitida muestra grandes diferencias dadas por las condiciones ambientales, las propiedades de los componentes del sistema y la temperatura. Además de que la transmisión y la recepción ocurren a diferentes frecuencias. El requerimiento de exactitud en el control de potencia de lazo abierto se ha especificado entre  $\pm 9$  dB en condiciones normales.

### **Mediciones**

Se encarga de realizar medidas en la estación base y dar una indicación de las mismas a las capas superiores en el RNC. Entre estas medidas se encuentran las siguientes:

- SIR (Signal Interference Ratio) del enlace ascendente en el DPDCH.
- Estimación de la tasa de error de bloque (BLER) y la tasa de error de bit (BER) para los diferentes canales lógicos.
- Potencia de transmisión total en una portadora en una estación base transmisora, dando información de los recursos de potencia disponibles en la estación base.

### **Sincronización**

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.

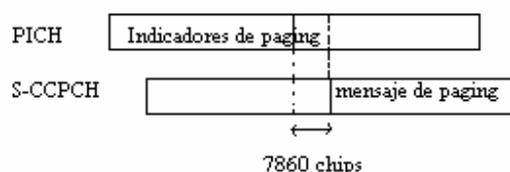
### **Trasposos**

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.

### Procedimiento de paging

La operación del canal de paging funciona como sigue: Una vez que está registrada la terminal en la red se localiza en un grupo de paging para el cual existen Indicadores de Paging (PI) que aparecen periódicamente en el canal indicador de paging (PICH) cuando hay mensajes de paging para cualquiera de las terminales pertenecientes a ese grupo de paging. Una vez que un indicador de paging se detecta la terminal decodifica el siguiente frame del canal paging transmitido en el secundario CCPCH para saber si había un mensaje de paging enviado para ella. A continuación se muestra la relación que existe entre el PICH y el PCH.



**Figura 4.1.7** Relación entre el PICH y el PCH

Entre menos indicadores de paging aparecen menos veces la terminal necesita despertar de su modo de espera y la vida de la batería se extiende.

## 4.2 Capa de Enlace L2

### 4.2.1 Capa MAC (Control de Acceso al Medio “Medium Access Control”)

En la capa MAC de UTRAN es en donde se lleva a cabo la administración del acceso simultáneo por un número determinado de usuarios (acceso múltiple) para compartir los recursos de radio, es por eso que la capa MAC asume un protagonismo esencial que se acentúa aún más si se considera la importancia que la transmisión de datos tiene en el sistema UMTS. La transmisión de datos puede caracterizarse por altas tasas de transmisión por cortos periodos de tiempo y con grandes periodos entre recepción de paquetes, como la idea es utilizar los recursos efectivamente se pueden utilizar esos periodos de inactividad del usuario para transmitir datos de otros usuarios.

#### 4.2.1.1 Funciones de la capa MAC

Esta capa juega un papel importante en varios procesos dentro de los que se encuentran: la regulación del acceso de múltiples usuarios a los mismos recursos de radio, la administración dinámica de los recursos de radio como lo dirige el RRC y en la implementación de una serie de procedimientos para una mejor administración de los recursos de radio. Además proporciona a la sub-capa RLC los siguientes servicios:

- *Transmisión de datos:* proporciona una transferencia de PDUs entre capas MACs de entidades parejas sin ninguna confirmación ni segmentación. Las funciones de segmentación/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.
- *Reasignación de los recursos de radio y parámetros de la capa MAC:* cuando el RRC lo requiera, este servicio reasigna los recursos de radio y cambia los parámetros de configuración de la capa MAC como: identificación del UE, el tipo de canal de transporte y el formato de combinación de transporte (TFCS).
- *Medición de los parámetros de calidad y tráfico:* la capa MAC desempeña una serie de mediciones locales en volúmenes de tráfico y en los parámetros que indican la calidad de transmisión, éstas mediciones se envían al RRC que interpreta las mediciones realizadas y realiza una determinada acción configurando los capas inferiores.

#### 4.2.1.2 Canales lógicos

Los canales lógicos se distinguen en base a la información que transfieren como a continuación se muestra:

- Canales de control que transfieren información de señalización del plano de control. (tabla 4.2.1)
- Canales de tráfico que transfieren la información del plano de usuario. (tabla 4.2.2)

Canales de control	Sentido	Utilización
<b>BCCH</b> Canal de control de difusión (Broadcast Control Channel)	DL	Canal utilizado para la difusión de la información de control del sistema entre la que se encuentra: información de la capa 3, información del sistema y parámetros de la capa física requeridos para la operación de la red (ej. Nivel de potencia de down-link o nivel de interferencia de up-link)
<b>PCCH</b> Canal de control de Paging (Paging Control Channel)	DL	Transmisión de información de paging, utilizado cuando la red no está enterada de la ubicación de la ubicación de la terminal.
<b>CCCH</b> Canal común de control (Common control channel)	DL/UL	Utilizado para la transmisión de información de control entre la red y la terminal móvil. Es utilizado cuando una conexión con el RRC aún no se ha establecido entre la terminal móvil y la red.
<b>DCCH</b> Canal de control dedicado (Dedicated control channel)	DL/UL	Es un canal bidireccional punto a punto para transmisión de información dedicada hacia un usuario particular. Se establece por medio de un procedimiento de establecimiento de conexión RRC.
<b>SHCCH</b> Canal compartido de control de canal (Shared Channel Control Channel)	DL/UL	Canal bidireccional que transmite información de control para los canales compartidos en el UL y DL entre la red y los UEs. Este canal es sólo para el modo TDD. Canales de Tráfico para la transferencia de información en el plano de usuario

**Tabla 4.2.1** Canales lógicos de control

Ejemplo de canal de tráfico	Sentido	Utilización
<b>DTCH</b> Canal dedicado de tráfico (Dedicated Traffic Channel)	UL/DL	Conexión dedicada punto a punto para una terminal móvil en particular para transferencia de información del plano de usuario.
<b>CTCH</b> Canal común de tráfico (Common Traffic channel)	UL/DL	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.)

**Tabla 4.2.2** Canales de tráfico lógicos

A continuación se muestra el mapeo entre los canales lógicos y de transporte

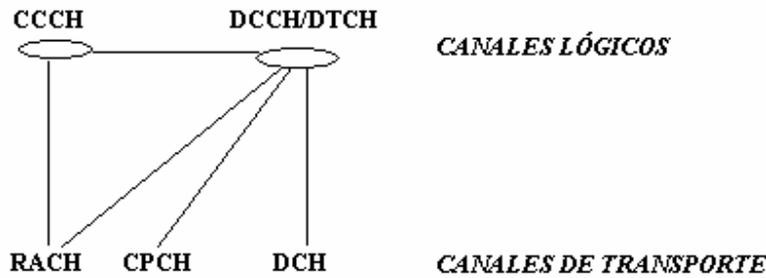


Figura 4.2.1 Mapeo entre los canales lógicos y de transporte en el uplink

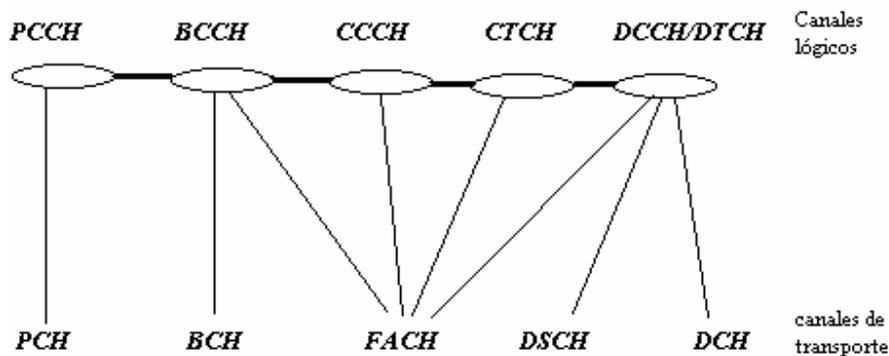


Figura 4.2.2 Mapeo entre los canales lógicos y de transporte en el downlink

#### 4.2.2 Capa RLC (Control de Enlace de Radio “Radio Link Control”)

La capa RLC asegura que la información es transmitida confiablemente en UTRAN y provee un servicio de retransmisión para los paquetes, con el fin de garantizar la entrega de información correctamente hacia el destino. El mecanismo de transmisión es una forma de protección de la información. Es posible garantizar la integridad de datos aún cuando las condiciones de canal de radio del móvil sean desfavorables. El RLC también desempeña una función de encriptación con el fin de proteger la información del usuario de interceptaciones no deseadas. El RLC puede también notificar a las capas superiores de algunos errores que no pueden ser controlados y eliminados por procedimientos normales.

#### 4.2.3 Capa BMC (Broadcast/Multicast Control)

La capa BMC proporciona un servicio de transmisión difusión/multicast de datos comunes en el plano de usuario de la interfaz de radio en un modo sin confirmación. Sus funciones son las siguientes:

- Almacenamiento de los mensajes de difusión en las celdas: El BMC en el RNC almacena los mensajes recibidos para su difusión programada.
- Monitoreo del volumen de tráfico y petición de recursos para el CBS (Servicio de difusión de la célula “Cell Broadcast Service”): Se calcula la tasa de transmisión necesaria para el CBS y realiza la petición de los recursos CTCH/FACH necesarias al RNC.
- Programación de los mensajes BMC: 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.

#### **4.2.4 Capa PDCP (Protocolo de Control de Información de Paquetes “Packet Data Control Protocol”)**

Proporciona un servicio de transferencia de datos de usuario usando compresión de cabeceras de las PDUs para mejorar la eficiencia en el canal de radio, en el modo transparente, con confirmación y sin confirmación. Dentro de sus principales funciones se encuentran la compresión/descompresión de cabeceras IP y la transferencia de datos de usuario.

### **4.3 Capa de Red L3**

La capa L3 se divide en dos partes: Una parte formada por la capa de Control de Recursos de Radio (RRC “Radio Resource Control”) y otra parte formada por el control de llamadas o de conexiones CC y la administración de movilidad MM.

#### **4.3.1 Capa RRC (Control de Recursos de Radio “Radio Resource Control”)**

Las funciones del RRC juegan una parte fundamental, dado que ellas son responsables del control y manejo de los recursos de radio. El RRC está encargado de la administración y control de las capas inferiores MAC y RLC y de la capa física, además de procurar los parámetros necesarios de entrada para los algoritmos y procedimientos de la Administración de los Recursos de Radio (RRM Radio Resource Management). El RRC transporta toda la señalización de las capas superiores 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.). Sobre la base de los servicios requeridos por las capas superiores y la designación actual de los recursos presentes en la célula, el RRC asigna un RB (Portador de Radio “Radio Bearer”) cuyas características en términos de la tasa de bits y QoS son capaces de soportar el servicio requerido. Una vez que los servicios han sido asignados, el RRC usa las mediciones recibidas de la MAC y la capa física para monitorear

los recursos para que éstos puedan ser reconfigurados dinámicamente y se pueda optimizar su administración.

Las principales funciones proveídas por la capa RRC son las siguientes:

- *Funciones asociadas con la movilidad en una conexión RRC:* El RRC evalúa, decide y ejecuta los procedimientos asociados con la movilidad (como traspasos, selección y reelección de célula).
- *Control de la calidad de servicio QoS requerida:* Esta función garantiza que la QoS requerida por el RB (Portador de Radio) necesitada para proveer el servicio requerido sea soportada
- *Control sobre las mediciones realizadas por la terminal móvil:* Las mediciones realizadas por la terminal móvil están debajo del control total del RRC con respecto a cómo, cuándo y cuáles parámetros son medidos. Además el RRC también porta esta información de la terminal móvil a la red.

En el modelo escogido por UTRAN, la capa RRC desempeña una verdadera supervisión de las otras subcapas, empleando un control total de las capacidades de UTRAN necesitadas para designar y controlar los recursos de radio. El RRC implementa el controlador de la Administración de los Recursos de Radio (RRM), por ejemplo el conjunto de todos los algoritmos y procedimientos para la administración de los recursos de radio en intercapas.

#### **4.3.1.1 Administración de los Recursos de Radio RRM (Radio Resource Management)**

RRM consiste de un conjunto de procedimientos y algoritmos usados para la administración eficiente de las capas de radio enlace. Implementado sobre la capa RRC, RRM supervisa y coordina las funciones proveídas sobre las otras capas (MAC, RLC y la capa física), permitiendo el uso correcto y eficiente de los canales disponibles por la capa física de la interfaz de radio. RRM es una característica de todos los sistemas radio móviles de importancia particular para la operación. Por ejemplo, un recurso relevante en un sistema CDMA es la potencia transmitida, si se tiene una administración pobre ésta puede tener un impacto negativo sobre la capacidad total del sistema radio móvil.

Estas observaciones son aplicadas en algunos procedimientos como selección / reelección de célula, el Control de Admisión y los traspasos suaves.

- *Selección / Reelección de Célula:* En un sistema móvil celular, cada terminal móvil en el estado idle (estado de ocioso, estado de espera) es asociado con una estación radio base. Es decir, con esta estación la terminal móvil intentará establecer una llamada tan pronto como el usuario lo requiera. Cuando es conectado, la terminal móvil escoge una célula usando el proceso de selección de célula. Esta célula es

actualizada mediante el proceso de reelección de célula. Consecuentemente es claro asegurar que la terminal móvil será asociada con el mejor cambio de estación de radio base con el fin de minimizar la potencia transmitida en un establecimiento de llamada.

- *Control de Admisión:* Las políticas usadas por el control de admisión de radio limitan el acceso a la red aún cuando los recursos de radio estén disponibles. Estas políticas son características de las técnicas de acceso, como lo es en CDMA la capacidad suave, por ejemplo cuando la calidad disminuye gradualmente al incrementar el número de llamadas. La carga máxima es entonces establecida por el operador, quien consecuentemente niega el acceso a llamadas extras con el fin de mantener la calidad en niveles aceptables. Cuando un nuevo usuario entra a la red, la potencia es transmitida sobre ambos enlaces ascendente y descendente, incrementando la interferencia percibida por otros usuarios. Consecuentemente el aceptar a un nuevo usuario es inútil y contraproducente si la interferencia que produce es excesiva.

Sobre el enlace ascendente, un nuevo usuario podría causar un incremento en el nivel de la potencia recibida por la estación base. Si este incremento (el cual es una función del servicio requerido) en la carga actual y las condiciones de los canales, es lo suficientemente grande puede crear problemas en la decodificación de los otros usuarios, por lo que es mejor denegar el acceso de la nueva terminal móvil a la red.

Sobre el enlace descendente, donde los códigos de spreading ortogonales son usados, el límite es usualmente puesto por la potencia máxima que puede ser transmitida por la estación base, en otras palabras, la estación base podría no estar en condiciones de transmitir la potencia necesitada por el nuevo usuario el cual, como el caso del enlace ascendente, depende del servicio requerido, de la carga del sistema y de las condiciones de canal.

Sobre la base de estas consideraciones, un algoritmo de control de admisión podría ayudar a nivelar los niveles de potencia necesarios que son compatibles con los límites establecidos por el equipo y el operador. De esta manera se podría aceptar o denegar el acceso de un nuevo usuario, o en el último caso se podría renegociar los servicios requeridos por el usuario de tal manera de reducir las tasa de transmisión para obtener una reducción en la potencia transmitida total.

- *Macrodiversidad y Traspasos Suaves (Soft Handovers):* El traspaso suave consiste de un conjunto de funciones: realización de mediciones, interpretándolas y transmitiendo la información medida e interpretada a la entidad de la red encargada del control del proceso, además de ejecutar el algoritmo de traspaso suave.

## 5. PLANIFICACIÓN DE RADIO DE UMTS

Muchos estudios se han llevado a cabo para el diseño de la planificación de radio de UMTS, cuyo fin es optimizar los recursos de radio de tal forma que se obtengan los mejores resultados utilizando un número de elementos de red mínimo (es decir aumentar la rentabilidad de las redes, ofreciendo un mejor servicio con una menor inversión). Para lo anterior es necesario hacer un dimensionamiento de la red, en donde se analicen las necesidades del operador como capacidad, cobertura y calidades de servicio, tomando en cuenta el tipo de servicio, de movilidad y de tráfico. En el dimensionamiento, la capacidad y cobertura se analizan separadamente para el enlace ascendente y descendente. La cobertura en un sistema UMTS es limitada por el enlace ascendente, porque el nivel de potencia de los móviles es limitada (125 mW para una terminal de voz). La dirección del enlace descendente limita la capacidad disponible de la célula, ya que la potencia de una estación base (típica de 20 W – 40 W) debe ser dividida para todos los usuarios. Tanto la cobertura y capacidad están entrelazadas por los márgenes de interferencia, a tal grado que para mejorar la capacidad se tendrá que decrementar la cobertura y viceversa; por tal motivo en el diseño del sistema estas dos características deben estar libremente balanceadas. Para el estudio de ambos enlaces es necesario hacer uso de dos herramientas principales: el factor de carga, que indica el porcentaje de capacidad soportada por el sistema; y una estimación de radio enlace, que da una perspectiva aproximada de la cobertura de una estación base o nodo B, de acuerdo a un porcentaje de carga (capacidad) dado.

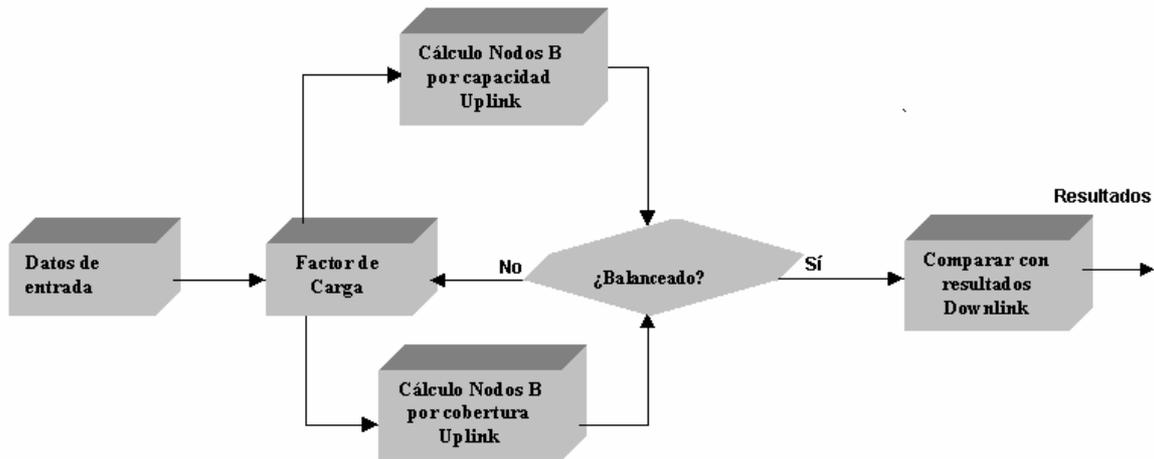
En un área urbana, la capacidad será el factor limitante, por lo que las células diseñadas serán dimensionadas de acuerdo a los requerimientos de Erlangs/km<sup>2</sup> para voz y datos. Aún usando 25 dB como pérdidas de penetración en edificios en el área urbana, el rango de la célula permitido estará en el rango de 0.3 – 1 Km para los propósitos de capacidad requeridos. En un área rural, la potencia de los móviles determinarán el máximo rango de la célula (suponiendo que en una zona rural las células están menos congestionadas). Un valor típico para el rango de las células en áreas rurales será de varios kilómetros dependiendo del tipo de terreno.

El principal objetivo de éste capítulo es determinar el efecto de los principales elementos involucrados para maximizar la capacidad y cobertura en ambos enlaces; de tal modo que se tengan presentes al momento de satisfacer los requerimientos del operador.

En la mayoría de las ocasiones el dimensionamiento sólo sirve para tener una idea general del número aproximado de sitios o nodos B, así como sus configuraciones y otros elementos de red (por ejemplo RNC's); sin embargo es necesario hacer un estudio más profundizado de capacidad y cobertura utilizando los resultados obtenidos de la fase de dimensionamiento; existen algunos simuladores estáticos (como el simulador Urano utilizado por Telefónica Movistar, el simulador estático "NPSW Estrategias para la Planificación de Red con WCDMA", etc.) que precisamente ayudan a hacer una evaluación más analítica de la situación y requerimientos del operador. Una vez que se ha finalizado todo el análisis, es necesario hacer una última etapa llamada fase de optimización, en esta fase se verifica constantemente el desempeño de la red mediante ciertas mediciones, y si

este desempeño no es el idóneo se hace una reestructuración de la fase de dimensionamiento tomando en cuenta los nuevos requerimientos para la red y los parámetros afectados.

Como se mencionó anteriormente este capítulo está enfocado principalmente a la fase de dimensionamiento, cuya principal meta es lograr un mejoramiento en capacidad y cobertura para un nodo B dado, determinando de esta manera el número de nodos B requeridos, así como la cantidad de RNCs en un ambiente urbano exterior (“outdoor”).



**Figura 5.0.1.** Planificación de radio de UMTS

En la sección 5.1, se analizan los elementos considerados para realizar una estimación de radio enlace (en ambos enlaces); en la sección 5.2 se analizan los factores de carga para el enlace ascendente y descendente, así como los parámetros que influyen de manera directa para estos factores. En la sección 5.3, se realiza un análisis a través de una serie de comparaciones variando parámetros esenciales como potencias de transmisión, márgenes para desvanecimientos rápidos y suaves, ganancias por traspasos suaves, ganancias por macrodiversidad y multitrayecto, etc., de forma tal que se visualicen los parámetros que más afectan en la capacidad y/o cobertura. En la sección 5.4 se hace un breve dimensionamiento de RNCs y finalmente en el punto 5.5 se ejemplificará todo lo anterior con un ejemplo práctico.

## 5.1 Estimación de Radio Enlace

La estimación de un radio enlace (RLB “Radio Link Budget”) es una parte fundamental para el proceso de planificación de la red de radio. El objeto del diseño de la RLB es calcular el tamaño máximo de la célula bajo ciertos criterios dados:

- Tipo de servicio (tipo de datos y velocidad)
- Tipo de medio ambiente (terreno, penetración en edificios)
- Comportamiento y tipos de móviles (velocidad, máximo nivel de potencia)
- Configuración del sistema (antenas del Nodo B, potencia del Nodo B, pérdidas por cables, ganancias de traspasos, etc.)
- Probabilidad de cobertura requerido
- Factores económicos y financieros (uso de equipo más caro y de mejor calidad o no).

En un RLB se consideran las ganancias de las antenas, las pérdidas de cables, las ganancias por diversidad, los márgenes de desvanecimientos de señal, etc. Los resultados obtenidos del RLB reflejan las pérdidas de camino por propagación máximas permitidas, de tal modo que el receptor en el UE (Equipo Móvil) o en el Nodo B pueda captar la señal para su respectivo procesamiento.

Las pérdidas totales por trayecto para el enlace ascendente se calcularán de la siguiente forma (la definición de cada uno de los parámetros se detallará más adelante):

**“Pérdidas Totales de Propagación en el Enlace Ascendente = (PIRE del UE) – (Sensibilidad del Nodo B) + (Ganancia de Antena del Nodo B) – (Pérdidas por dispositivos del Nodo B) – (Margen de Desvanecimientos Rápidos) – (Margen de Desvanecimientos Lentos) + (Ganancia de Traspasos Suaves)”**

Mientras que para el enlace descendente las pérdidas totales serán:

**“Pérdidas Totales de Propagación en el Enlace Descendente = (PIRE del Nodo B) – (Sensibilidad del UE) + (Ganancia de Antena del UE) – (Pérdidas por dispositivo del UE) – (Margen de Desvanecimientos Rápidos) – (Margen de Desvanecimientos Lentos) + (Ganancia de Traspasos Suaves)”**

Con base en lo anterior es posible conocer y determinar el rango de la célula utilizando alguno de los métodos de propagación (Okumura-Hata o Walfisch-Ikegami) y por lo tanto el número de sitios necesitados. Las estimaciones de radio enlaces en WCDMA son muy semejantes a las utilizadas en los sistemas como TDMA y GSM, sólo que en WCDMA se incluyen nuevos factores como el margen de degradación de interferencia, el incremento de la potencia de transmisión del nodo B y la ganancia de traspasos suaves. A continuación, se describen los parámetros utilizados para una estimación de radio enlace. Cabe señalar que en la sección 5.3 se analiza el efecto de algunos de ellos para la obtención de máxima capacidad y cobertura.

### 5.1.1 Potencias de Transmisión

Es la potencia promedio de transmisión por canal de tráfico y está definida como la media de la potencia total transmitida durante un ciclo completo de transmisión con máxima potencia transmitida, se expresa en dBm. El promedio de las potencias de transmisión que se utilizarán para el desarrollo del análisis en esta tesis son:

$$\begin{aligned} \text{Potencia de UE} &= 23 \text{ [dBm]} \\ \text{Potencia de Nodo B} &= 40 \text{ [dBm]} \end{aligned}$$

### 5.1.2 Ganancias de Antenas

La ganancia de una antena se define como la relación entre la densidad de potencia radiada en una dirección y la densidad de potencia que radiaría una antena isotrópica, a igualdad de distancias y potencias entregadas a la antena.

Los valores típicos para un sistema UMTS son:

$$\begin{aligned} \text{Estación Base} &= 18 \text{ dBi} \\ \text{Estación Móvil} &= 0 \text{ dBi} \end{aligned}$$

### 5.1.3 Potencia Isotrópica Radiada Equivalente (PIRE)

Es el producto de la potencia suministrada a una antena por la ganancia de antena, en una dirección dada, relativa al radiador isotrópico.

$$\text{PIRE (dBm)} = \text{Potencia (dBm)} + \text{Ganancia de Antena (dBi)}$$

Si consideramos las pérdidas de cables entre el amplificador y la antena, entonces nuestro PIRE se obtiene como:

$$\text{PIRE (dBm)} = \text{Potencia (dBm)} + \text{Ganancia de Antena (dBi)} - \text{Pérdidas de Cables (dB)} \quad (5.1)$$

### 5.1.4 Densidad de Ruido Térmico

Todo cuerpo, por encontrarse a una cierta temperatura T (en grados Kelvin) genera ondas electromagnéticas de potencia prácticamente constante a lo largo de todo el espectro de radiofrecuencia. Se demuestra que dicha potencia se puede expresar matemáticamente como:

$$N \text{ (Watts)} = kTB$$

donde  $N$  es la potencia de ruido en watts (W),  $k$  es la constante de Boltzmann [ $k = 1,38 \times 10^{-23}$  J/K (julios por grado Kelvin)],  $T$  es la temperatura en K (grados Kelvin) y  $B$  es el ancho de banda en hertz (Hz).

Cuando el ruido térmico no depende del ancho de banda de información se denomina *densidad de ruido térmico*:

$$N_0(W / Hz) = \frac{kTB}{B} = kT$$

Generalmente esta densidad está expresada en dBm/Hz:

$$N_0 \text{ (dBm/Hz)} = 10 \log (kT / 1 \text{ mW}) \quad (5.2)$$

Suponiendo una temperatura ambiente de 20°C, la densidad de ruido térmico es aproximadamente de -174 (dBm/Hz).

### 5.1.5 Figura de ruido

Se define el factor de ruido como la relación entre el ruido a la salida del amplificador real y el ideal, es decir, que indica cuanto nivel de ruido introduce el amplificador a la señal de entrada. Considerando  $T = 290$  K; es decir, la temperatura ambiente (17° C). El factor de ruido está definido como:

$$F = (T_n/290) + 1 \quad (5.3)$$

A la inversa, la temperatura de ruido será:

$$T_n = 290 (F-1)$$

De estas fórmulas se obtiene una importante conclusión: el factor de ruido no depende del ancho de banda. Es más común expresar el factor de ruido en decibelios, sin más que aplicar logaritmos decimales, llamándose en este caso *figura de ruido*:

$$NF(\text{dB}) = 10 \log(F) = 10 \log [(T_n/290)+1] \quad (5.4)$$

Las figuras de ruido típicas varían de 5 dB a 9 dB.

### 5.1.6 Potencia de Ruido del Receptor

Es el ruido generado por el receptor debido al ruido térmico (densidad de ruido térmico) y a la figura de ruido. Se define entonces:

$$\text{Densidad de ruido del receptor (dBm/Hz)} = N_0 \text{ (dBm/Hz)} + NF \text{ (dB)}$$

Si consideramos el ancho de banda de nuestro sistema, obtenemos entonces la potencia de ruido del receptor:

$$\text{Potencia de ruido del receptor (W)} = \text{Densidad de ruido del receptor (W/Hz)} \times \text{Ancho de banda (Hz)}$$

$$\text{Potencia de ruido del receptor (W)} = \text{Densidad de ruido del receptor (dBm/Hz)} + 10 \log(\text{Ancho de banda})$$

### 5.1.7 Margen de Interferencia

Es un elemento del RLB específico para WCDMA que no se utiliza en los sistemas basados en TDMA como GSM. Este parámetro permite tener una idea del impacto que tiene el factor de carga ( $\eta$ ) en el cálculo del enlace y puede determinarse como a continuación se describe:

$$I_m = 10 \log\left(\frac{1}{1-\eta}\right)$$

Como puede observarse mientras el margen de interferencia se incrementa el factor de carga se incrementa también lo cual se puede ver reflejado en un decremento en el rango de la célula. Este factor es necesario en el cálculo del “Radio Link Budget” debido a que involucra la carga de la célula y por lo tanto la cobertura de ésta. Entre más carga se permita en el sistema mayor será el margen de interferencia necesario en el enlace ascendente y menor se hará el área de cobertura pues la potencia requerida por la estación base de cada uno de los móviles será mayor. En el caso de sistemas limitados en cobertura se sugiere utilizar un margen de interferencia menor y en los sistemas limitados en capacidad uno mayor debe ser utilizado. Lo anterior es porque el tamaño de la celda está limitado por las máximas pérdidas de propagación permitidas que se obtienen como resultado de la Estimación del Radio Enlace.

Valores típicos para el margen de interferencia en los casos de cobertura limitada van de 1.0 a 3.0 dB que corresponden a 20%-50% de carga.

### 5.1.8 Ganancia de Procesamiento

Es la relación entre el ancho de banda de la señal transmitida ( $W_c$ ) y el ancho de banda de la señal de información ( $W_i$ ) en un sistema de espectro disperso. Para evitar propiedades específicas de filtrado y modulación se igualan en éste caso los anchos de banda con las tasas de bits y se obtiene la siguiente expresión:

$$G_p = \frac{W_c}{W_i} = \frac{Tasa_{chips}}{Tasa_{usuario}} \quad (5.5)$$

El efecto de la ganancia de procesamiento se observa en la recepción de una señal ya que entre mayor es su valor, mayor es la potencia de interferencia de banda angosta que se suprime en el receptor debido al ensanchamiento de la señal en el proceso de “despreading”. En el caso de señales de banda ancha provenientes de sistemas de espectro disperso el efecto de la ganancia de procesamiento se puede ver a la salida del correlador en el receptor pues al integrar los productos resultantes de la señal recibida por la secuencia de código generada se obtiene una señal de amplitud mayor a la que se recibió en un factor igual al valor de la ganancia de procesamiento y eso hace que el proceso de decisión sea más sencillo. Es por esto que la  $G_p$  se toma como un factor de mejora de la SIR (Relación Señal Interferencia) de la señal después del “despreading”.

A pesar de lo anterior la  $G_p$  no es propiamente una ganancia debido a que aumenta cuando el ancho de banda de la señal a transmitirse también lo hace, lo cual no es lo más deseable en los sistemas de comunicación. Como puede notarse que para un canal con un ancho de banda dado (tasa de chip) se puede obtener una ganancia de procesamiento mayor para tasas de datos menores.

### 5.1.9 $E_b / N_0$

Es la Energía de Bit ( $E_b$ ) dividida por la Densidad de Ruido Espectral ( $N_0$ ) y es la medida de la relación señal a ruido para un sistema de comunicación digital. Este parámetro es medido en la entrada del receptor y es usado para saber qué tan fuerte es la señal. Diferentes formas de modulación (BPSK, QPSK, QAM, etc) tienen diferentes curvas teóricas de tasas de bit erróneo contra  $E_b/N_0$ . Otro parámetro que hace referencia al desempeño del sistema es la relación Portadora-a-Ruido “C/N (Carrier to Noise)”, el cual puede ser obtenido como:

$$C/N = E_b/N_0 * R/W$$

Donde R es la tasa de bit y W es el ancho de banda del ruido del receptor.

En un sistema CDMA la interferencia es ruido, por lo que la densidad espectral de interferencia es adherida a la densidad espectral de ruido. El término  $N_0$  puede usualmente ser reemplazado por el término  $I_0$ , interferencia más densidad de ruido. El indicador  $E_b/N_0$

siempre es referido a algún parámetro de calidad, el más común es el BER (Tasa de bit erróneo 'Bit Error Rate').

Para el cálculo del  $E_b/N_o$  del enlace ascendente suponemos que la señal es recibida con una potencia constante  $P_{rx}$  y la potencia de interferencia recibida más ruido es  $I_o$ . Asumiendo que la tasa de bit es  $R_b$  y el ancho de banda  $W$ , se tiene entonces:

$$(E_b/N_o)_{asc} = (P_{rx} * T_b) / (I_o / W) = (P_{rx}/R_b) / (I_o / W)$$

$$(E_b/N_o)_{asc} = (W/R_b) * (P_{rx} / I_o)$$

siendo  $I_o = I + N_o$  e  $I = (N-1)P_{rx}$

donde  $W/R_b$  es la ganancia de procesamiento y  $N$  el número de usuarios.

Cuando se analiza un sistema con varias celdas hay que tomar en cuenta también la interferencia producida por los usuarios activos en las otras celdas del sistema. Al considerar la interferencia intercelda, la ecuación para calcular la relación  $E_b/N_o$  queda así:

$$(E_b/N_o)_{asc} = (W/R_b) * (P_{rx} / (I_{inter} + I_{intra} + N_o)) \quad (5.6)$$

Donde  $I_{intra}$  es la interferencia producida dentro de la misma celda e  $I_{inter}$  es la interferencia producida por las celdas adyacentes.

En el enlace descendente el  $E_b/N_o$  es definido casi en forma similar, sólo que los códigos ortogonales sincronizados reducen la interferencia de la célula servidora. El  $E_b/N_o$  es calculado por el modelo:

$$(E_b/N_o)_{desc} = (W/R_b) * \{P_{rx} / [I_{intra}(1-\alpha) + I_{inter} + N_o]\} \quad (5.7)$$

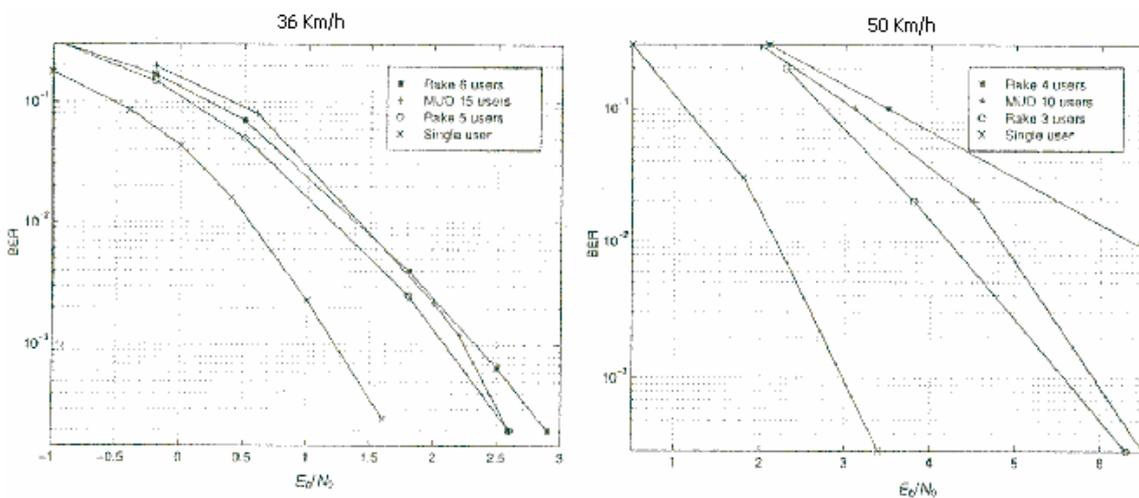
El factor  $\alpha$  es llamado factor de ortogonalidad, el cual depende de las condiciones de multitrayecto. Cuando los códigos son totalmente ortogonales, esto es en el caso de no multitrayecto (caso ideal) la interferencia de la célula es cancelada. Si hay instantáneamente dos caminos de propagación, entonces solo la mitad de la interferencia es cancelada desde el punto de vista del receptor ( $\alpha = 0.5$ ) en ese instante.

Se ha experimentado que la interferencia intercélula o intercelda es mucho menor en magnitud que la interferencia intra-célula, donde ésta última es más prominente en el enlace ascendente que en el enlace descendente.

Reduciendo la interferencia en un sistema puede conducir a un incremento directo en la capacidad del mismo. El principal objetivo de los algoritmos de control de potencia es mantener la  $E_b/N_o$  recibida tan cerca como sea posible a un umbral predeterminado. De las ecuaciones anteriores (5.6 y 5.7) se puede observar que variando ya sea la potencia transmitida o la tasa de transmisión y manteniendo constante la potencia de ruido, varía  $E_b/N_o$ . De ahí que el método más eficiente para alcanzar la  $E_b/N_o$  es variar óptimamente la

tasa de datos y la potencia, siendo que la máxima tasa de datos puede ser alcanzada con la interferencia mínima.

En ambos enlaces ascendente y descendente el  $E_b/N_0$  es directamente proporcional a la ganancia de procesamiento. Por tal motivo para servicios cuyas tasas de bit es menor, se necesita menos potencia de transmisión para asegurar el  $E_b/N_0$  requerido, dado que la ganancia de procesamiento es mayor. Como se observa en la tabla 5.1.1 para altas tasas de bits el  $E_b/N_0$  tiende a ser menor, compensado por la cobertura reducida de las altas tasas de bits. Para un menor  $E_b/N_0$ , menor es la potencia necesitada y un radio de cobertura mayor puede ser obtenido.  $E_b/N_0$  también varía dependiendo de la velocidad del móvil, siendo tal que a velocidades mayores y a una tasa de bits erróneos (BER) dada el  $E_b/N_0$  obtenido es menor que a bajas velocidades (tal y como lo muestra la siguiente gráfica).



**Figura 5.1.1** BER como una función de  $E_b/N_0$

El desempeño del  $E_b/N_0$  depende de la exactitud del canal y los algoritmos de estimación de la SIR (Relación Interferencia a Señal). Estas estimaciones están basadas sobre los símbolos de referencia del DPCCH. La mayoría de la potencia que pueda ser asignada para el DPCCH va a mejorar la estimación de canal, dado que el DPDCH no siempre hay datos que transmitir (dependiendo del servicio). La diferencia de potencia entre el DPCCH y DPDCH puede ser ajustada y es controlada por la red.

$E_b/N_o$ UL (dB)	12.2 kbps (voz)		64 kbps			144 kbps			384 kbps		
	3 km/h	4	CS	3 km/h	2	CS	3 km/h	1.5	CS	3 km/h	1
	20 km/h	4.5	PS	3 km/h	2	PS	3 km/h	1.5	PS	3 km/h	1
	120 km/h	5		120 km/h	3.3		120 km/h	3		120 km/h	2
$E_b/N_o$ DL (dB)	12.2 kbps (voz)		64 kbps			144 kbps			384 kbps		
	3 km/h	6.5	CS	3 km/h		CS	3 km/h	5	CS	3 km/h	
	20 km/h	6	PS	3 km/h	5.5	PS	3 km/h	5	PS	3 km/h	4.5
	120 km/h	6.5		120 km/h	5		120 km/h	4.5		120 km/h	4

**Tabla 5.1.1** Ejemplos de valores de  $E_b/N_o$  [6] para una  $BER = 10^{-3}$

Otros factores tienen un impacto directo sobre el  $E_b/N_o$  principalmente en el enlace ascendente, como lo son: diversidad multirrayecto, ganancia de macrodiversidad, las técnicas de procesamiento de la señal en el Nodo B y la diversidad de la antena receptora.

Mientras más ganancia de diversidad de multirrayecto se tenga, se obtendrá una mejor estimación de señal con la misma potencia y por lo tanto se tendrá una cobertura mayor (no así en el caso descendente donde el efecto multirrayecto incrementa la interferencia del móvil al reducirse el factor de ortogonalidad). En el segundo caso, en la ausencia de ganancia de diversidad multirrayecto durante un traspaso suave, la probabilidad de asegurar la detección de la señal incrementa durante el traspaso suave resultando en una ganancia de macrodiversidad. Si las técnicas de procesamiento de la señal en el nodo B son más avanzadas, por ejemplo adaptando más filtros para disminuir la interferencia puede mejorarse los valores de la  $E_b/N_o$ , por lo tanto se obtendrá una cobertura mayor con la misma potencia utilizada.

### 5.1.10 Sensibilidad del Receptor

Es el nivel de señal que se necesita en la entrada del receptor y que satisface el requerimiento de relación señal a ruido (SNR). Depende de la relación señal a ruido, la figura de ruido y el ancho de banda.

$$S = SNR * N_o * W = \frac{E_b}{N_o} \frac{R}{W(1-\eta)} N_o W \quad (5.8)$$

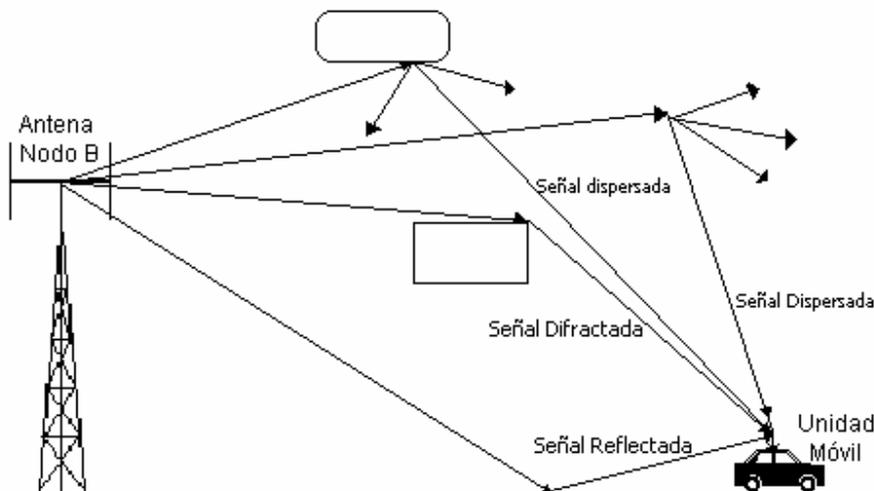
siendo  $N = N_o W$

Donde  $N$  es la potencia de ruido total en el receptor,  $N_f$  la figura de ruido,  $k$  la constante de Boltzmann ( $1.381 \cdot 10^{-23}$  Ws/K),  $T_o$  es la temperatura absoluta,  $R$  es la tasa de usuario,  $W$  la tasa de chip de WCDMA y  $\eta$  es el factor de carga.

### 5.1.11 Pérdidas por el Espacio Libre y Márgenes de Desvanecimiento

Una de las principales limitaciones de un sistema de comunicaciones móviles es la atenuación de la señal cuando viaja ésta del transmisor al receptor. El camino que puede tomar la señal puede ser en línea de vista (LOS Line-of-Sight), en el cual las pérdidas de la señal pueden no ser tan severas.

Sin embargo en un ambiente urbano y suburbano, el trayecto entre el transmisor y el receptor es indirecto, donde la señal busca al receptor a través de los procesos de reflexión, difracción, refracción y dispersión de edificios, estructuras y otras obstrucciones en el camino; esto significa que la señal que viaja del transmisor al receptor lo hace a través de una propagación sin línea de vista (N-LOS Non Line-of-Sight)



**Figura 5.1.2** La recepción de una señal

En ausencia de obstáculos substanciales en el trayecto de la señal, la potencia de la misma recibida ( $P_r$ ) es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia recorrida [11].

$$P_r \propto d^{-2}$$

La potencia recibida es normalmente expresada como:

$$P_R(d) = \frac{P_T G_T G_R \lambda^2}{(4 \pi d)^2}$$

Donde  $G_T$  y  $G_R$  son las ganancias de las antenas del transmisor y receptor respectivamente.  $P_T$  es la potencia de transmisión y  $\lambda$  la longitud de onda, siendo  $d$  la distancia entre el transmisor y el receptor.

Las pérdidas por el espacio libre están dadas por:

$$L_{e,l} = \left( \frac{4\pi d}{\lambda} \right)^2 = \left( \frac{4\pi d f}{c} \right)^2$$

Por lo que:

$$L_{e,l}[dB] = 20 \log \left( \frac{4\pi}{c} \right) + 20 \log(d) + 20 \log(f) \quad (5.9)$$

Donde:

c = Velocidad de la luz

f = Frecuencia

Dado que la frecuencia se encuentra en el orden de los MHz y  $d$  en Km, podemos reescribir la ecuación 5.9 obteniendo:

$$L_{e,l}[dB] = 20 \log(d) + 20 \log(f) + 32.442 \quad (5.10)$$

Un número de modelos han sido propuestos para predecir las pérdidas de una señal conforme ésta viaja al receptor, entre los principales se encuentran los modelos de Okumura-Hata y el de Walfisch-Ikegami. Estos modelos combinan mediciones empíricas de muchas ciudades y modelos físicos que toman en cuenta los diferentes trayectos en los cuales la señal de radiofrecuencia viaja.

Sin embargo, la atenuación de la señal por el espacio libre es acompañada por una serie de desvanecimientos de la señal llamados “Desvanecimientos Rápidos y Desvanecimientos Lentos” (ver figura 5.1.4), es decir, que aun sobre la misma atenuación la señal sufrirá una secuencia de pérdidas causadas por las diferentes distribuciones de obstáculos (montañas, colinas, edificios, etc.) entre el transmisor y receptor. Por lo anterior es necesario fijar también ciertos márgenes que la señal pudiera sufrir como pérdidas adicionales a la atenuación, originadas por los desvanecimientos rápidos y lentos.

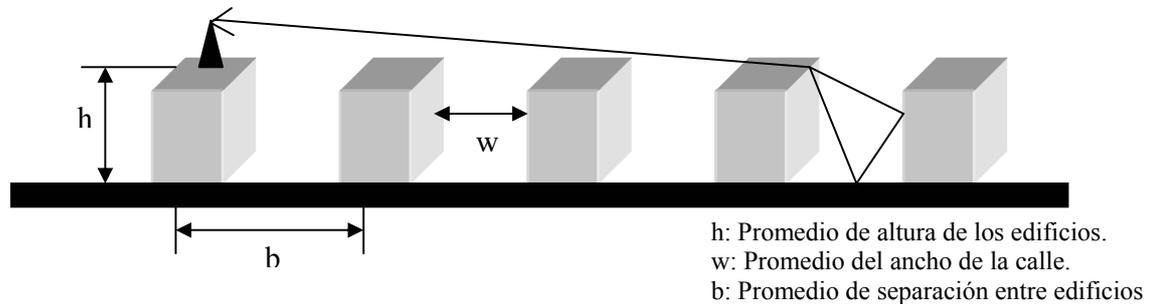
### 5.1.11.1 Modelos de Propagación.

A continuación se describen los dos modelos de propagación más ampliamente usados para describir las pérdidas de propagación: el modelo de Okumura-Hata y Walfisch-Ikegami.

#### 5.1.11.1.1 Modelo de Walfisch-Ikegami

El modelo de Walfisch-Ikegami está basado sobre la suposición de que la onda transmitida se propaga sobre los tejados o cimas de los edificios mediante un proceso de

difracción múltiple. Los edificios en entre la línea del transmisor y receptor son caracterizados como “semi-pantallas difractantes con igual altura y rango de separación”.



**Figura 5.1.3** Definición de parámetros del modelo de Walfisch-Ikegami

En la terminal móvil el campo recibido consiste de dos rayos, por ejemplo, en la figura 5.1.3: (1) el rayo difractado directo y (2) el rayo difractado – reflejado. La potencia de estas dos componentes es combinada. Para la situación de línea de vista (LOS “Line of Sight”), el modelo original fue ampliado, dando por resultado el modelo COST 231 – Walfisch – Ikegami.

Aunque el modelo de Walfisch-Ikegami es considerado para ser un modelo de microcelda, éste podría ser usado “muy cuidadosamente” cuando la antena del transmisor está por debajo del techo de los edificios de los alrededores. En el modelo de Walfisch-Ikegami se restringe su uso a los casos donde las dimensiones de los edificios son idénticas y son uniformemente separados. También la altura del terreno debe ser constante en el cálculo del área de la celda o célula.

El modelo COST 231 Walfisch-Ikegami es dividido en dos partes: (1) línea de vista (LOS) y (2) línea sin vista (NLOS “Non Line of Sight”). La altura de los edificios es usada para averiguar si el trayecto está en línea de vista o no. En este modelo las pérdidas de trayecto son calculadas como sigue:

$$L_p = \begin{cases} 42.6 + 26 \log_{10} d + 20 \log_{10} f & \text{cuando el receptor está en LOS} \\ 32.4 + 20 \log_{10} d + 20 \log_{10} f + L_{rts} + L_{msd} & \text{cuando el receptor está en NLOS} \end{cases}$$

Donde  $L_p$  son las pérdidas totales por trayecto (dB),  $L_{rts}$  es la pérdida por dispersión y difracción del techo del edificio a la calle (dB) y  $L_{msd}$  es la pérdida por difracción multi-pantalla (dB). Cabe señalar que la definición para LOS es solo válida para distancias relativamente cortas.

Como se mencionó anteriormente el modelo de Walfisch-Ikegami está basado sobre la suposición de que las distancias entre los edificios y las alturas de los mismos son uniformes. Se deberá tener extremo cuidado al momento de hacer una planificación celular

con este modelo y dado que sólo es aplicable para microcélulas, se utilizará para los propósitos de este trabajo el modelo de Okumura-Hata que a continuación se describe.

#### 5.1.11.1.2 Modelo de Okumura-Hata y Radio de Cobertura

El modelo de propagación más conocido para calcular las pérdidas por propagación es el modelo de Okumura-Hata, el cual se analizará dado su gran facilidad de aplicación y uso.

El modelo de Okumura-Hata es extensamente usado para el cálculo de la cobertura en una planificación de red de macrocélula. Basado sobre mediciones hechas por Y. Okumura a frecuencias superiores a los 1920 MHz, M. Hata logró establecer un modelo matemático para las pérdidas de propagación.

En el modelo original las pérdidas por trayecto fueron computarizadas calculando el factor de corrección de atenuación empírico para áreas urbanas como una función de la distancia entre la estación base y la estación móvil y la frecuencia. Este factor fue adherido a las pérdidas por el espacio libre, y posteriormente otros factores de corrección para el modelo fueron adheridos como las alturas de las antenas del Nodo B y del UE. Este primer modelo de Okumura-Hata fue diseñado para un intervalo de frecuencias de 150-1000 MHz, sin embargo fue modificado de tal modo que pudiese ser utilizado para frecuencias entre 1.5 – 2.0 GHz y el resultado fue el modelo COST 231 – Hata, el cual es aplicable para redes de radio de tercera generación. Su aplicación en diferentes tipos de terreno y por la diversidad de parámetros de red, ha hecho que el modelo de Okumura-Hata sea muy útil en diversos estudios de propagación.

El modelo COST 231-Hata es aplicable bajo las siguientes condiciones:

Frecuencia	1500 - 2000	MHz
Altura de la antena de la estación base	30 - 200	m
Altura de la antena de la estación móvil	1 - 10	m
Distancia d (rango de la célula)	1 - 20	km

La ecuación para las pérdidas por propagación en un ambiente urbano de acuerdo a COST 231 – Hata es:

$$L_p = 46.3 + 33.9 \log_{10} f - 13.82 \log_{10} H_b - a(H_m) + (44.9 - 6.55 \log_{10} H_b) \cdot \log_{10} d$$

Donde:

$L_p$ : Pérdidas de trayecto

$f$ : Frecuencia (MHz)

$H_m$ : Altura de la antena del móvil (m)

$H_b$ : Altura de la antena de la estación base (m)

$a(H_m)$ : Función de la ganancia de la antena del móvil (dB). Para una ciudad pequeña o mediana el valor de  $a(H_m)$  está dado por:

$$a(H_m) = (1.1 \log_{10} f - 0.7) \cdot H_m - (1.56 \log_{10} f - 0.8)$$

Para los cálculos realizados en esta tesis se tomo en cuenta una altura de la antena de la estación base de  $H_b = 30$  m y una altura de la antena del móvil de  $H_m = 1.5$  m,  $f = 1950$  MHz para el enlace ascendente y  $f = 2140$  MHz para el enlace descendente.

Se tiene entonces que para el enlace ascendente la ecuación del modelo de propagación de Okumura-Hata utilizada en este capítulo con los datos predefinidos es:

$$L_{p_{\text{ascendente}}} = 137.37 + 35.22 \log_{10} (R) \quad (5.11)$$

Donde R es el radio cobertura de la célula máximo, despejando:

$$R_{\text{ascendente}} [\text{Km}] = 10^{[(L_{p_{\text{ascendente}}} - 137.37) / 35.22]} \quad (5.12)$$

Mientras que para el enlace descendente:

$$L_{p_{\text{descendente}}} = 138.74 + 35.22 \log_{10} d \quad (5.13)$$

Despejando:

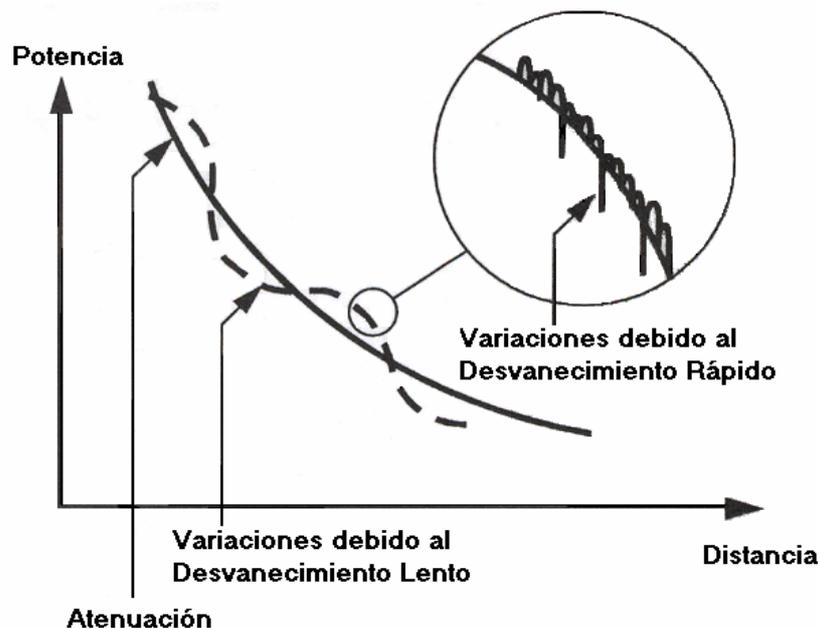
$$R_{\text{descendente}} [\text{Km}] = 10^{[(L_{p_{\text{descendente}}} - 138.74) / 35.22]} \quad (5.14)$$

Para un ambiente suburbano se aplica un factor de corrección de 8 dB en las pérdidas de la señal por trayecto .

### 5.1.11.2 Desvanecimientos de la Señal

De la figura 5.1.4 se puede observar un decremento en la potencia, que corresponde a la simple atenuación de la misma. Si nosotros ampliamos la gráfica en un par de kilómetros observaremos que la potencia fluctúa alrededor de un valor principal. Este fenómeno es referido como “Desvanecimiento de Duración Larga (Long Term Fading) o Desvanecimiento Lento (Slow Fading)”. Si nosotros ampliamos aún más y examinamos la potencia sobre unos pocos cientos de metros, notaremos que la potencia está fluctuando aún más rápidamente; este fenómeno es conocido como “Desvanecimiento de Duración Corta (Short Term Fading) o Desvanecimiento Rápido (Fast Fading)”.

Como se explico anteriormente las características de transmisión no son determinadas solo por la atenuación. La atenuación observada puede estar fluctuando con la distancia y el tiempo, lo cual puede ser descrito en términos de desvanecimientos de la señal. Estos desvanecimientos de la señal son el resultado de obstrucciones y reflexiones, que conducen a una señal resultante cuya conformación es la suma de posibles señales débiles, directas (línea de vista) y de diversas señales indirectas o reflejadas.



**Figura 5.1.4** Desvanecimientos Rápido y Lento

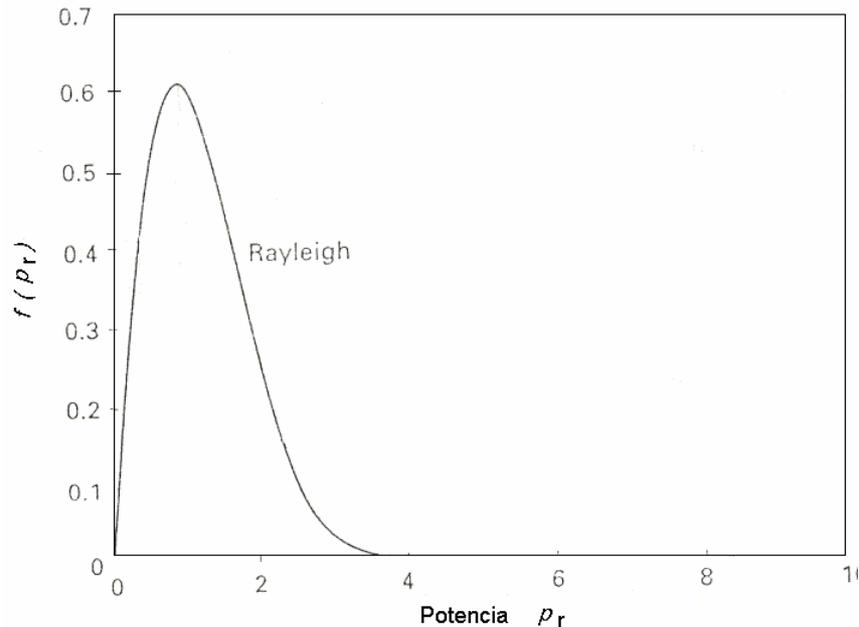
#### 5.1.11.2.1 Desvanecimiento Rápido (Fast Fading)

El desvanecimiento rápido de la señal o “fast fading” (distancia entre pico y pico  $\approx \lambda/2$ ) se presenta usualmente durante una comunicación de radio debido al hecho de que la antena del móvil es inferior a las estructuras circundantes como árboles y edificios, los cuales actúan como reflectores. La señal resultante consiste de diversas ondas con varias amplitudes y fases, donde en algunas ocasiones estas ondas llegan a cancelarse una con la otra, ocasionando un nivel de señal mucho menor que la sensibilidad del receptor. En campos abiertos donde la señal es directa y dominante, este tipo de desvanecimiento es menos notable.

El desvanecimiento rápido es analizado mediante la distribución de Rayleigh con respecto al voltaje o potencia de la señal. Por lo tanto este desvanecimiento algunas veces es llamado también como “desvanecimiento Rayleigh”. La función de densidad de probabilidad de la distribución Rayleigh está dada por:

$$f_R(r) = \frac{r}{p_0} \exp\left[-\frac{r^2}{2p_0}\right] \quad (5.15)$$

Donde  $r$  es la amplitud de la señal recibida y  $p_0$  es el promedio de la potencia de la señal.



**Figura 5.1.5** Función de densidad de probabilidad “Rayleigh”

Este tipo de desvanecimiento afecta la calidad de la señal y por consiguiente algunas medidas deben ser tomadas para contrarrestar este desvanecimiento.

La primera y la más simple solución es usar más potencia en el transmisor, asignando de esta manera un margen de desvanecimiento rápido. Debido a que el desvanecimiento rápido es más significativo cuando el móvil se desplaza a bajas velocidades, en esta tesis y para los cálculos posteriores se tomarán en cuenta los siguientes márgenes de desvanecimientos:

Para 3 Km/h	→	Un margen de desvanecimiento rápido de 4 dB
Para 120 Km/h	→	Un margen de desvanecimiento rápido de 0 dB

Otra manera de reducir el daño hecho por el desvanecimiento Rayleigh es usar diversidad espacial o de espacio, la cual reduce el número de picos más severos del desvanecimiento, mejorando la calidad de voz.

La diversidad quiere decir que dos señales o más son recibidas, las cuales tienen ligeramente “historias de trayecto” diferentes y por lo tanto, la mejor puede ser usada.

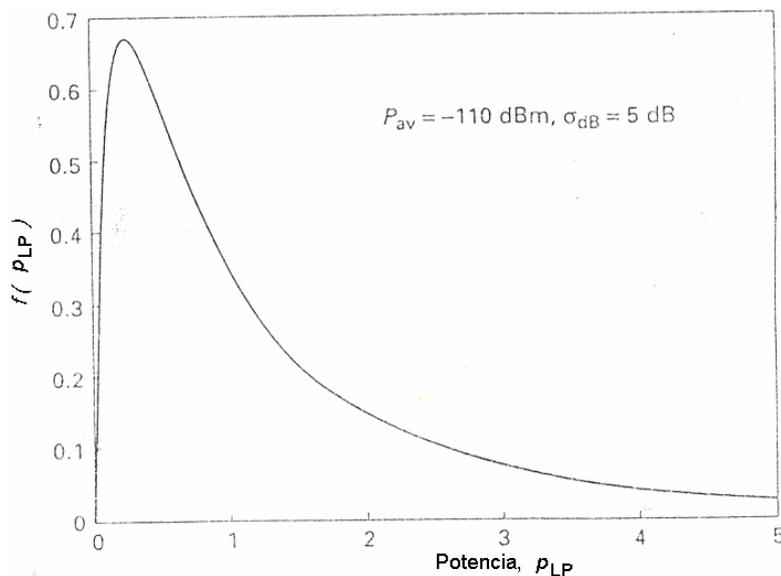
### 5.1.11.2.2 Desvanecimiento Lento

La potencia en un desvanecimiento lento es algunas veces llamada la potencia promedio local, expresada en una escala logarítmica y normalmente distribuida. Por lo tanto este desvanecimiento lento es llamado también como “desvanecimiento log normal”. La función de densidad de probabilidad de la potencia PLP bajo el desvanecimiento “log normal” es expresada como:

$$f(p_{LP}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2 p_{LP}^2}} \exp\left[-\frac{1}{2\sigma^2} \ln^2\left(\frac{p_{LP}}{p_0}\right)\right] \quad (5.16)$$

Donde  $P_{LP}$  es la potencia local recibida,  $p_0$  es la potencia promedio en milliwatts y

$$\sigma = \frac{\sigma_{dB} \ln(10)}{10} \quad \sigma_{dB} = \text{desviación estándar (dB)}$$



**Figura 5.1.6** Función de densidad de probabilidad “Lognormal”

Si nosotros manejamos a través de un desierto plano sin alguna obstrucción, la señal varía lentamente con la distancia. Sin embargo, en casos normales el camino de la señal es obstruido.

Las obstrucciones cerca del móvil (por ejemplo edificios, puentes, árboles, etc.) causan un cambio rápido de la potencia local (en el rango de cinco a cincuenta metros), mientras que las obstrucciones topográficas causan una variación de la señal más lento. Debido a que el desvanecimiento lento reduce la potencia promedio recibida, la cobertura total del transmisor es reducida. Para combatir esto, un margen de desvanecimiento lento debe ser usado para el cálculo de la capacidad y cobertura. Para una probabilidad de

cobertura entre el 90 – 95 % conduce a un margen de desvanecimiento lento típico de 7 – 8 dB [6]

### 5.1.12 Probabilidad de Cobertura

Es una medida del grado de servicio y está estrechamente relacionada con la calidad de la planificación de radio y la capacidad de la red. Es la probabilidad de que el móvil pueda recibir la señal arriba de un umbral en la frontera de la célula. El valor de ese umbral elegido no debe ser igual al umbral de ruido en el receptor, pero debe ser tal que proporcione una señal aceptable bajo condiciones de desvanecimiento rápido. También puede definirse como el porcentaje de ubicaciones dentro de un círculo de radio R en el que la señal recibida de una estación base excede un umbral particular. Este parámetro se encuentra estrechamente ligado con el margen de desvanecimiento el cual permite aumentar la probabilidad de que la señal sea buena en la frontera de la celda. La probabilidad de cobertura utilizada en la Estimación del Radio Enlace es aquella que se obtiene considerando la célula aislada y para ese caso se puede obtener de la siguiente forma [6]:

$$Fu = \frac{1}{2} \left[ 1 - \operatorname{erf}(a) + \exp\left(\frac{1 - 2 * a * b}{b^2}\right) * \left(1 - \operatorname{erf}\frac{1 - a * b}{b}\right) \right] \quad (5.17)$$

$$a = \frac{x_o - P_r}{\sigma * \sqrt{2}}$$

$$b = \frac{10 * n \log_{10} e}{\sigma * \sqrt{2}}$$

donde  $P_r$  es el nivel de potencia recibido en la frontera de la célula,  $n$  es la constante de propagación,  $x_o$  es el nivel promedio de señal,  $\sigma$  es la desviación estándar del nivel de señal y  $\operatorname{erf}$  es la función de error.

Si se considera la influencia de otras células como normalmente ocurre en los sistemas celulares donde la cobertura de las células se traslapa la probabilidad de cobertura se puede incrementar.

### 5.1.13 Técnicas de Diversidad

Un método para combatir los efectos de los desvanecimientos multi-trayecto es obtener no solo una, sino diversas versiones de una señal en el receptor. Este principio es conocido como “diversidad”. La probabilidad de que todas estas señales sean simultáneamente desvanecidas en su totalidad, es mucho menor que la probabilidad de que una señal sea desvanecida totalmente. Las técnicas de diversidad más importantes son:

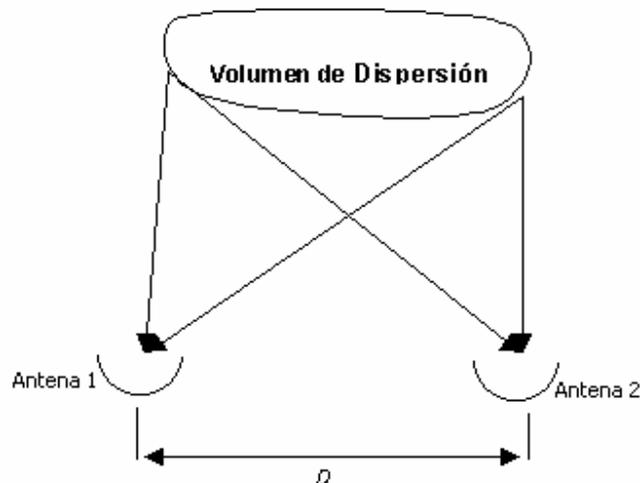
- Diversidad de espacio.
- Diversidad de ángulo
- Diversidad de frecuencia (frecuencias diferentes / bandas de frecuencia).
- Diversidad de polarización.
- Diversidad de tiempo.

Una vez que las diversas versiones de una señal son obtenidas, éstas son combinadas para obtener una señal óptima basada sobre alguna medición de desempeño como el CIR (Carrier Interference Ratio). Los métodos que son utilizados para este fin son:

- Combinación de selección.
- Combinación de proporción máxima
- Combinación de ganancia igual.

#### 5.1.13.1 Diversidad Espacial o de Espacio.

La diversidad por espacio está fundamentada en la naturaleza aleatoria de propagación de la señal en diferentes direcciones (diversidad multitrayecto). Por ejemplo, considere la propagación de una señal transmitida a través de un medio con dispersión y dos antenas de recepción separadas por una distancia  $D$ :



**Figura 5.1.7** Diversidad por Espacio

Las señales recibidas por las antenas tienen significativamente historias de trayectos diferentes o al menos son no correlacionadas (dependiendo de la separación entre las antenas) y por lo tanto la mejor señal recibida puede ser usada. Con la eficiencia de la diversidad por espacio, la calidad de la información (voz o datos) es mejorada.

La diversidad espacial reduce el efecto del desvanecimiento Rayleigh por el hecho de que muchas trayectorias independientes existen en una localidad dada y por lo tanto es posible que para las señales entrantes a una antena sean independientes a las entrantes a la antena contigua. El requerimiento para que el efecto Rayleigh sea disminuido es que las señales entrantes entre las diversas antenas tengan una correlación cero o no correlacionadas. La siguiente distinción puede ser hecha entre la diversidad por espacio:

- *Microdiversidad*: Donde la distancia entre las antenas está en el orden de solo unas pocas longitudes de onda.
- *Macrodiversidad*: Donde la distancia entre las antenas es al menos de unas 10 longitudes de onda.

Para el diseño del sitio de recepción, uno necesita visualizar la distancia de separación entre las antenas de tal modo que las señales que lleguen a una antena sean independientes a las de las otras antenas.

En el enlace ascendente los efectos de la macrodiversidad son siempre positivos, pues entre más antenas traten de detectar las señales existe una mayor probabilidad de que suceda, en este sentido el proceso de detección por si mismo no utiliza la información de otras estaciones base que reciben la misma señal.

En el enlace descendente es diferente ya que la señal de transmisión es originada por varias fuentes y la recepción de esa diversidad de señales la lleva a cabo un único receptor (UE). El incremento en la capacidad del sistema se basa en un principio similar al del canal multitrayecto con el receptor RAKE, donde las fluctuaciones del nivel de potencia recibido tienden a disminuir mientras que el número de rutas separables aumenta. Sin embargo la capacidad de ganancia del receptor RAKE por la diversidad extra existente depende del número de brazos del receptor RAKE (“fingers”) disponibles, ya que si el receptor RAKE no está habilitado para coleccionar suficiente energía de las transmisiones de dos o más estaciones base que transmiten, las transmisiones extra tendrán un efecto negativo en la capacidad total del sistema.

### **5.1.13.2 Diversidad angular**

La diversidad angular hace uso de las propiedades direccionales de una antena. Cada antena responde a una propagación de señal recibida en una dirección o ángulo específico; la señal desvanecida será no correlacionada con las componentes de la otra señal que están siendo recibidas por la otra antena direccional.

En la diversidad espacial, las antenas son separadas horizontalmente y son apuntadas a la misma dirección; en la diversidad angular, las antenas son colocadas de tal modo que capten las señales que vienen de diferentes direcciones angulares. La diversidad espacial es implementada en la estación base (nodo B), mientras que la diversidad angular puede ser implementada en el nodo B o en la unidad móvil. La mejora en el desempeño es realizado cuando las señales de las dos antenas son no correlacionadas.

### **5.1.13.3 Diversidad de Frecuencia**

En algunas ocasiones es posible tener una diversidad de las señales transmitiendo la misma información en diferentes frecuencias; esta diversidad resultante es conocida como “*diversidad de frecuencia*”. Las frecuencias portadoras deben estar lo suficientemente separadas para que las señales transmitidas en estas frecuencias sean no correlacionadas y preferiblemente independientes. La limitación de esta técnica es la disponibilidad del ancho de banda para permitir un número de frecuencias diferentes y la habilidad del receptor para captar estas señales sin la necesidad de múltiples receptores sintonizados en diferentes frecuencias.

### **5.1.13.4 Diversidad de Polarización**

La diversidad de polarización hace uso de la propiedad inherente de la dispersión y la reflexión para despolarizar el flujo de propagación de la señal, aún cuando la señal transmitida puede ser polarizada vertical u horizontalmente. La señal despolarizada que llega a la antena puede ser distribuida en dos polarizaciones ortogonales (vertical y horizontal), produciendo dos señales independientes con desvanecimientos distintos.

### **5.1.13.5 Diversidad por Tiempo**

En la diversidad por tiempo la misma señal es transmitida en dos o más tiempos distintos. Las técnicas de diversidad por tiempo tienen una ventaja principal sobre los sistemas por diversidad de frecuencia o espacio, al no requerir múltiples antenas necesitando sólo una antena en el receptor. Los sistemas por diversidad de tiempo, requieren por lo tanto un almacenamiento de los flujos de información recibida para su respectivo procesamiento.

## **5.1.14 Métodos de Combinación**

Las diversas señales originadas por las técnicas de diversidad deben ser combinadas para obtener una señal resultante con el valor más alto de relación Señal-a-Ruido (SNR Signal to Noise Rate) requerido para obtener un nivel aceptable de la tasa de error de bits. Entre los principales métodos de combinación se tienen:

- Combinación por Selección.
- Combinación de Proporción Máxima.
- Combinación de Ganancia Igual.

### 5.1.14.1 Combinación por Selección.

La selección por combinación es el método más fácil, su efectividad está basada sobre el principio donde no todas las señales entrantes al receptor (obtenidas a través de las técnicas de diversidad) tendrán bajos valores al mismo tiempo. Bajo estas condiciones es posible enfocarse en la señal que tenga la más alta SNR y usar ésta como la señal primaria recibida.

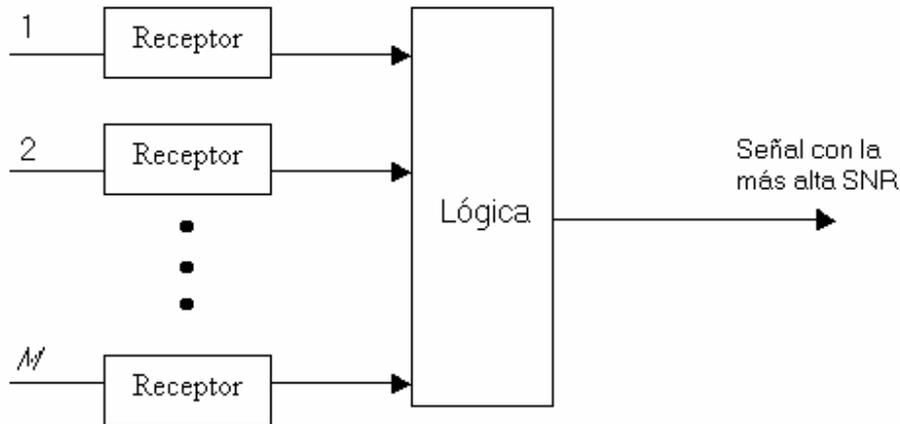
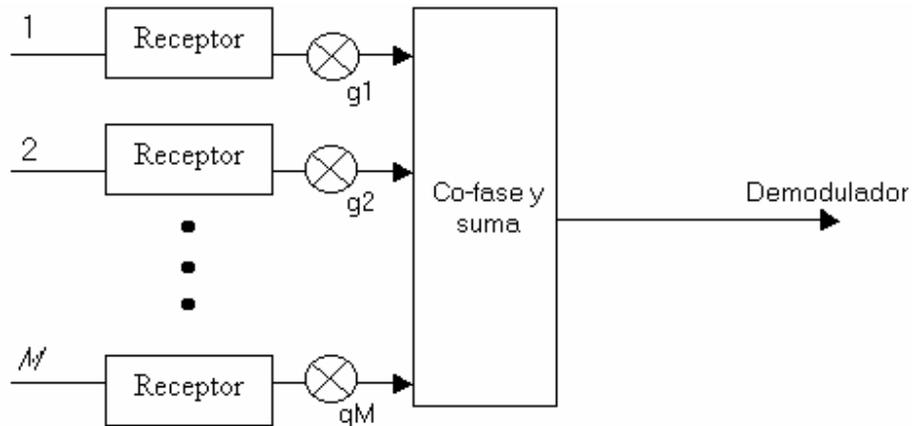


Figura 5.1.8 Combinación por Selección

La implementación de la combinación por selección empieza con la examinación de las componentes de las señales recibidas de los distintos brazos del receptor RAKE (originadas por la diversidad), de los cuales se escoge aquel que esté recibiendo la señal más aceptable. Este particular brazo es usado hasta que el valor de la SNR (Relación Señal a Ruido) esté por debajo de un valor de umbral dado. Como el valor de la SNR de este brazo está por debajo del umbral, una nueva selección es hecha y el proceso es continuado.

### 5.1.14.2 Combinación de Proporción Máxima

Una desventaja de la selección por combinación es que no hace uso de la disponibilidad de las múltiples señales. La combinación de proporción máxima crea una nueva señal que es una combinación lineal de todas las múltiples señales con un apropiado peso. Las salidas de los diferentes brazos de diversidad (receptor RAKE) son sumados en fase con un "factor de ganancia".



**Figura 5.1.9** Combinación de Proporción Máxima

La SNR obtenida por la combinación de proporción máxima es la suma de todas las SNRs de todos los brazos de diversidad. De esta manera la SNR resultante es mucho más alta que la obtenida por la combinación por selección. Sin embargo, este mejoramiento es realizado con un alto costo debido a la complejidad incrementada; se debe de desempeñar un procesamiento de la señal considerable para lograr el correcto peso de los factores de la ganancia. Este problema de implementación conduce al caso donde todos los factores de ganancia pueden ser puestos igual, como se describe en la siguiente técnica de combinación.

#### 5.1.14.3 Combinación de Ganancia Igual

El combinador de ganancia igual es un combinador de proporción máxima en el cual todos los pesos (factores de ganancia) son iguales. Todos los pesos deben ser puestos a la unidad y el procesamiento descrito en la sección es realizado. El desempeño de la combinación de ganancia igual es intermedio entre los niveles desempeño de la combinación por selección y los de la combinación de proporción máxima, donde ésta última provee el mejor desempeño. El combinador de selección es mucho más fácil para implementar que el combinador de proporción máxima.

#### 5.1.15 Ganancia de “soft handover”

De acuerdo con lo mencionado en las secciones anteriores podemos hablar de una ganancia de soft handover en el sentido de que la macrodiversidad permite obtener una ganancia en cuanto a capacidad del sistema. Esta ganancia tiene un gran impacto en el cálculo del enlace y representa la ganancia que provoca un traspaso en la frontera entre dos o más células, donde existe una pérdida promedio igual entre todas las células. Los

traspasos proporcionan una ganancia contra el desvanecimiento lento (soft handover o log-normal fading) reduciendo el margen de desvanecimiento lento requerido, esto se debe a que el desvanecimiento no está correlacionado entre los distintos nodos B y el móvil puede seleccionar un mejor nodo B. También proporcionan una ganancia contra el desvanecimiento rápido (fast fading) reduciendo el valor de  $E_b/N_0$  requerido para un radio enlace único, debido al efecto de la combinación de macrodiversidad. [9]

La ganancia de “soft handover” se puede obtener calculando primero el margen de desvanecimiento suave (log-normal) requerido para proporcionar la probabilidad de cobertura en la frontera de una célula sola, después el correspondiente margen requerido en la frontera entre dos o más células. La ganancia de “soft handover” está dada entonces por la diferencia en decibeles entre los dos diferentes márgenes. Como se observa esta ganancia depende de la correlación de los desvanecimientos suaves y la probabilidad de cobertura y entre mayor sea la probabilidad de cobertura requerida mayor es el margen requerido.

Los valores típicos para éste indicador se encuentran dentro del rango de 2 a 3 dB.

#### **5.1.16 Máximas pérdidas de trayecto**

Son las pérdidas máximas en la señal que permite el funcionamiento requerido en la frontera de la célula. Una vez que las máximas pérdidas de trayecto se obtienen mediante el cálculo del RLB se puede aplicar un modelo de propagación que describa las condiciones del área para llevar a cabo la estimación del rango de la célula.

#### **5.1.17 Otros factores.**

Existen otros factores secundarios que son considerados en una estimación de radio enlace, tales como:

##### **5.1.17.1 Margen por penetración en edificios.**

Es una estimación de las pérdidas que puede sufrir la señal debido a la estructura de los edificios u otros elementos. Generalmente este margen es típico de 15 dB.

##### **5.1.17.2 Pérdidas por cables, conectores**

En el transmisor es la combinación de las pérdidas de todos los componentes del sistema de transmisión entre la salida del transmisor y la entrada de la antena. En el receptor incluye la combinación de las pérdidas de todos los componentes del sistema de transmisión entre la salida de la antena receptora y la entrada del receptor.

## 5.2 Factores de Carga

La siguiente fase del dimensionamiento consiste en realizar la estimación de la cantidad de tráfico soportada por cada estación base. Para éste caso se debe considerar la cantidad de interferencia ya que está muy relacionada con la capacidad de carga entregada por la célula, es decir, entre más carga exista en el sistema se necesita un margen de interferencia mayor en el enlace ascendente y el área de cobertura disminuye.

### 5.2.1 Factor de Carga para el Enlace Ascendente (Uplink)

La  $E_b/N_o$  requerida por el sistema puede derivarse de simulaciones de nivel de enlace y de mediciones e incluye el efecto del control de potencia de lazo cerrado y el traspaso suave (ganancia de macrodiversidad). Para la obtención del factor de carga en el enlace ascendente se parte de la siguiente  $E_b/N_o$  (energía por bit de usuario dividida por la densidad espectral de potencia) mínima requerida por el sistema:

$$\frac{E_b}{N_o} j = \frac{\text{Ganancia}_{\text{procesamiento}_j} * \text{señal}_{\text{usuario}_j}}{\text{Potencia}_{\text{total}_{\text{recibida}_j}} - \text{señal}_{\text{usuario}_j}}$$

$$(E_b / N_o)_j = \frac{W}{R_j v_j} \frac{P_j}{I_{\text{TOTAL}} - P_j}$$

Donde:  $W$  es la tasa de chips,  $R_j$  es la tasa de usuario,  $v_j$  es el factor de actividad,  $P_j$  es la potencia del usuario  $j$  recibida,  $I_{\text{TOTAL}}$  es la potencia total de banda ancha incluyendo la potencia de ruido térmico en la estación base.

Definiendo a  $P_j = L_j * I_{\text{TOTAL}}$ , en donde  $L_j$  es el factor de carga una conexión se tiene:

$$L_j = \frac{1}{1 + \frac{W}{(E_b / N_o)_j * R_j * v_j}}$$

Por lo que el factor de carga del sistema puede considerarse que es:

$$\eta_{UL} = \sum_{j=1}^N L_j$$

Si en el factor de carga se considera la interferencia de otras células se incluye el siguiente factor:

$$i = \text{interferencia de otras células} / \text{interferencia de la propia célula}$$

$$\eta_{UL} = (1 + i) * \sum_{j=1}^N L_j \quad (5.18)$$

La interferencia total sin contar el ruido térmico es la suma de las potencias recibidas de todos los usuarios en la misma célula.

$$I_{TOTAL} - P_N = \sum_{j=1}^N L_j * I_{TOTAL} \quad (5.19)$$

De donde podemos deducir que la elevación de ruido en el sistema (relación de la potencia total de banda ancha entre la potencia de ruido) es la siguiente:

$$\text{Elevación de ruido} = \frac{1}{1 - \eta_{UL}} \quad (5.20)$$

Como se observa en la ecuación anterior, la elevación de ruido sobre el ruido térmico del sistema debido a interferencia se puede predecir a partir del factor de carga. El margen de interferencia del RLB (“Radio Link Budget” Estimación del Radio Enlace) debe ser igual a la elevación de ruido máxima planeada.

	Definición	Valores Recomendados
$v_j$	Factor de actividad	0.67 Para voz 1.0 Para datos
$i$	Interferencia de otras células	55% Suponiendo macro célula con antenas omnidireccionales.

**Tabla 5.2.1** Parámetros recomendados para el Enlace Ascendente [9]

### 5.2.2 Factor de Carga para el Enlace Descendente (Downlink)

El factor de carga para el enlace descendente puede ser definido de manera similar al del enlace ascendente. El factor de carga está dado por la siguiente expresión:

$$\eta_{DL} = \sum_{j=1}^N v_j \cdot \frac{(E_b/N_0)_j}{W/R_j} \cdot [(1 - \alpha_j) + i_j] \quad (5.21)$$

Propiamente son los mismos parámetros utilizados para el enlace ascendente, solo que se toma en cuenta también el factor de ortogonalidad para el enlace descendente.

La elevación de ruido (margen de interferencia sobre el ruido térmico) será entonces:

$$\text{Elevación de Ruido} = \frac{1}{1 - \eta_{DL}} = \frac{1}{1 - \left\{ \sum_{j=1}^N v_j \cdot \frac{(E_b/N_0)_j}{W/R_j} \cdot [(1 - \alpha_j) + i_j] \right\}} \quad (5.22)$$

Los valores recomendados [9] para la fase de dimensionamiento pueden visualizarse en la tabla 5.1.3

	Definición	Valores Recomendados
$v_j$	Factor de actividad	0.68 Para voz 2.0 Para datos
$I$	Interferencia de otras células	55% Suponiendo macro célula con antenas omnidireccionales.
$\alpha$	Factor de ortogonalidad	60% Vehicular 90% Al aire libre

**Tabla 5.2.2** Parámetros recomendados para el Enlace Descendente [9]

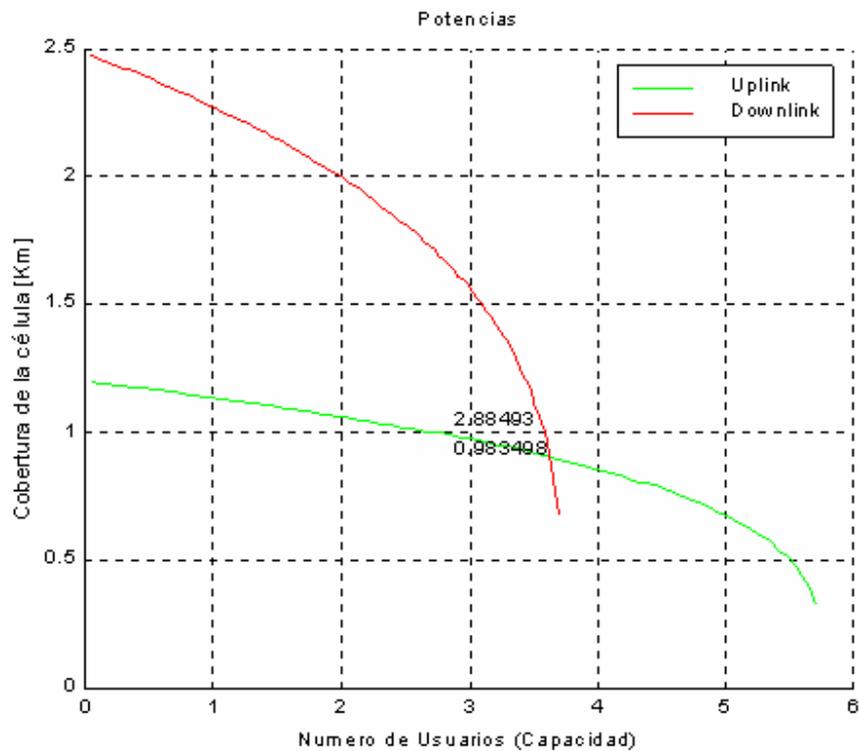
### 5.3 Análisis de Capacidad y Cobertura

Los desarrollos analíticos que a continuación se presentan están basados sobre el enlace ascendente, por el hecho de que la potencia de los móviles es mucho menor y limitada (125 mW) y poco modificable, a comparación del nodo B cuyos parámetros pueden ser manipulables. Sin embargo, es de vital importancia que los valores de capacidad y cobertura obtenidos mediante el enlace ascendente, puedan ser soportados por el enlace descendente. Si esto no es así, se deberán realizar nuevamente los cálculos pero ahora sobre el enlace descendente, en donde es posible modificar parámetros como las ganancias de antenas y aplicar técnicas de diversidad. Finalmente lo que se busca es tener la máxima capacidad y cobertura posibles, cuidando que se cumpla un balance en ambos enlaces. De igual manera se utilizarán velocidades de los móviles de 3 Km/h y 120 Km/h dado que representan las principales velocidades en las que un usuario puede estar utilizando un servicio determinado de UMTS. Los valores obtenidos mediante el enlace ascendente están referenciados a un 50 % del factor de carga correspondiendo a un margen de interferencia de 3 dB. A continuación se presentan los principales parámetros que se deberán tomar en cuenta para una planificación celular en UMTS y cómo éstos afectan a la capacidad y cobertura de un nodo B.

### 5.3.1 Potencias de Transmisión

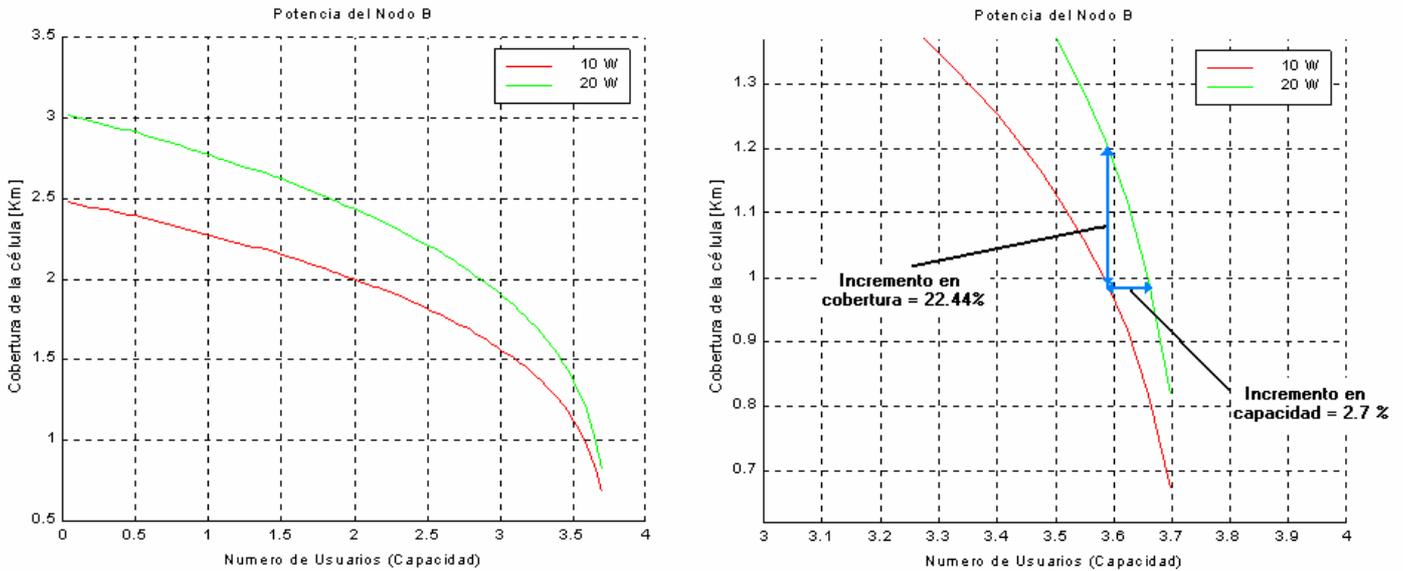
#### 5.3.1.1 Potencia en el Nodo B

En la figura 5.3.1 se considera una potencia de la estación base de 10 W. En el siguiente análisis observaremos las mejoras en la capacidad y cobertura incrementando la potencia de la estación base a 20 W



**Figura 5.3.1** Cobertura y Capacidad: 3 Km/h, 384 Kbps, 125 mW – UE, 10 W – Nodo B

La diferencia en la cobertura y capacidad del enlace descendente entre 10 W y 20 W de la potencia de salida de la estación base puede ser vista en la figura 5.3.2. Si nosotros incrementamos la potencia del enlace descendente al doble (3 dB), se puede permitir 3 dB más en las pérdidas totales de trayecto y por lo tanto la cobertura puede aumentar. “*El mejoramiento en la capacidad es mucho más pequeño que el correspondiente de la cobertura*”, debido a la curva del factor de carga. Si nosotros mantenemos la cobertura del enlace descendente a 0.98 Km, la cual es la máxima que puede ser alcanzada mediante el enlace ascendente con 3 dB de margen de interferencia, la capacidad en el enlace descendente es incrementada solo en un 2.7 %.



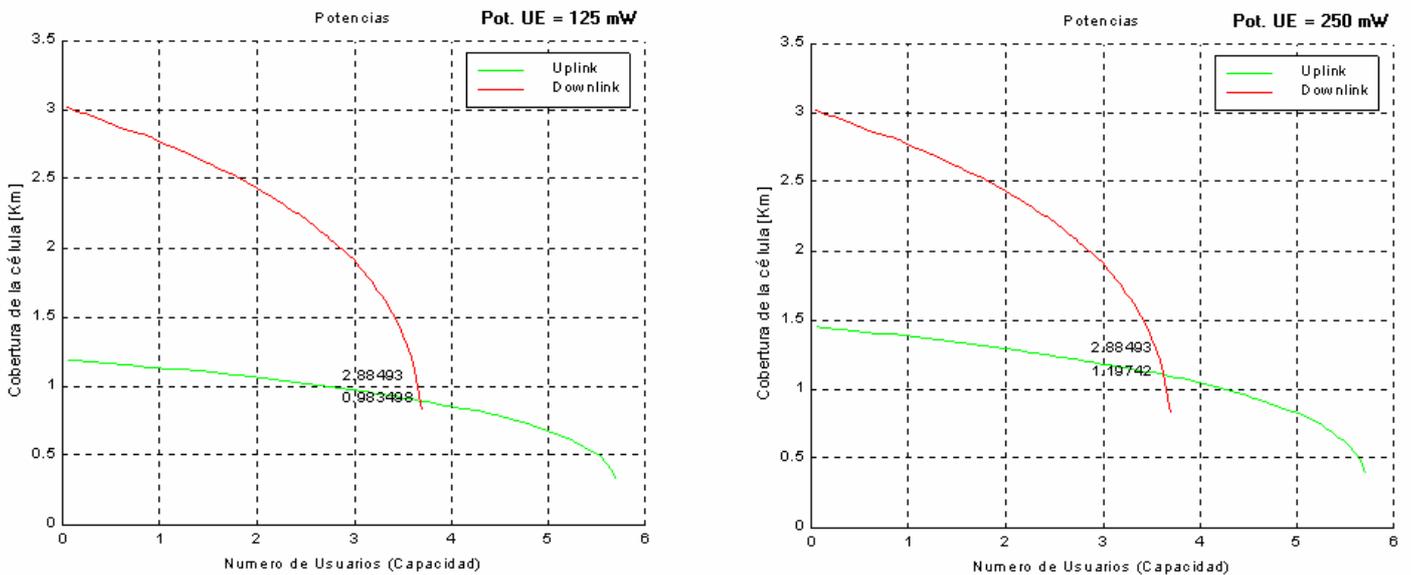
**Figura 5.3.2** Efecto de la potencia de salida de la estación base en la capacidad y cobertura

Con lo anterior podemos observar que el incrementar la potencia en el enlace descendente es un método ineficiente para aumentar la capacidad en el mismo enlace, a partir de que la potencia no afecta al factor de carga. Además el incrementar la potencia en las estaciones base conduce a un costo mucho más elevado al utilizar transmisores de alta capacidad.

Para aumentar la capacidad del enlace descendente es preferible adoptar alguna otra técnica como: variar la ganancia de las antenas, sectorización, etc.

### 5.3.1.2 Potencia de los UE's

En la figura 5.3.3 se puede visualizar los resultados obtenidos en el enlace ascendente al incrementar la potencia de "todos" los UE's de 125 mW a 250 mW (la potencia de la estación base es fijada a 20 W). Cabe recordar que los datos obtenidos están basados de acuerdo a un 50 % del factor de carga (margen de interferencia =3 dB).



**Figura 5.3.3** Efecto de la potencia de salida de los móviles en la capacidad y cobertura

Como se observa, no hay ningún mejoramiento en lo que respecta a la capacidad debido a que el aumento de la potencia de los equipos de usuarios no afecta al factor de carga total. La cobertura obtiene un incremento aproximadamente del 21.75 %

Podemos decir entonces que al igual que en el enlace descendente, el incrementar en un 100 % la potencia de “todos los móviles” no es un método eficiente para incrementar la cobertura, dado que ésta solo obtiene un 21.75 % de mejora. Además no todos los móviles podrán soportar una potencia de 250 mW debido a las reglamentaciones establecidas, así es que el incremento de la cobertura no aplicará para aquellos móviles de baja potencia.

### 5.3.2 Desvanecimiento Lento

Para este análisis se utilizó un margen de desvanecimiento lento entre 7 - 8 dB, el cual es típico para alcanzar una probabilidad de cobertura del 90 % - 95% respectivamente.

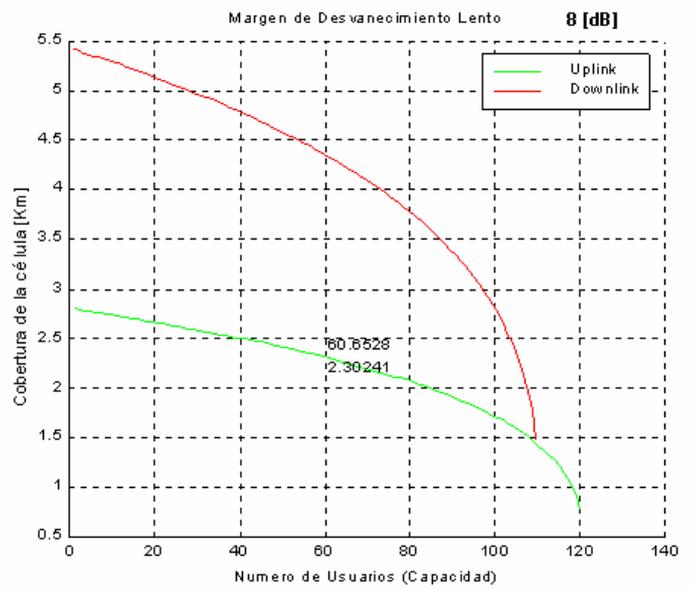
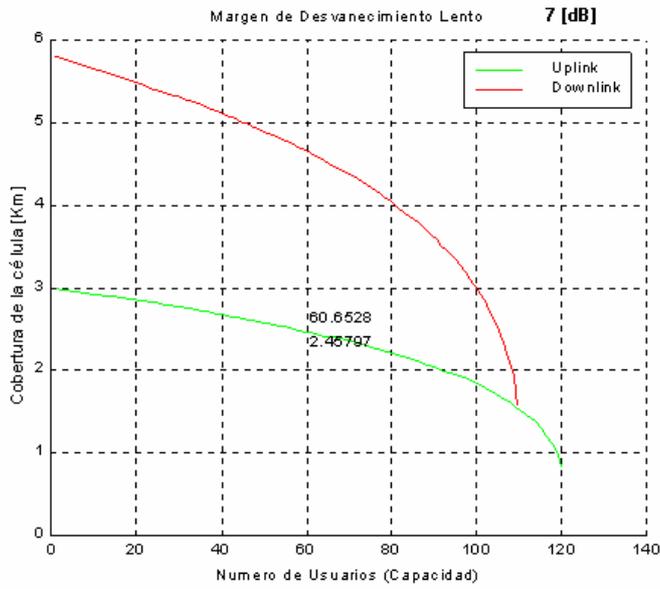


Figura 5.3.4 Desvanecimiento Lento: 3 Km/h → Voz (12.2 Kbps)

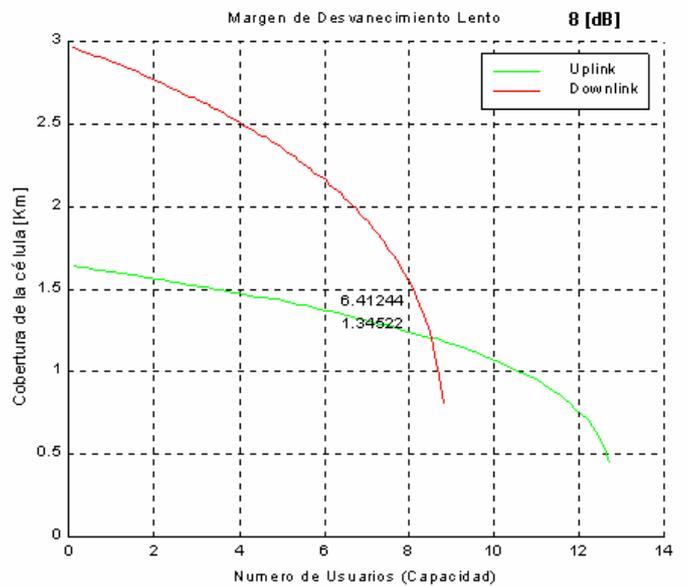
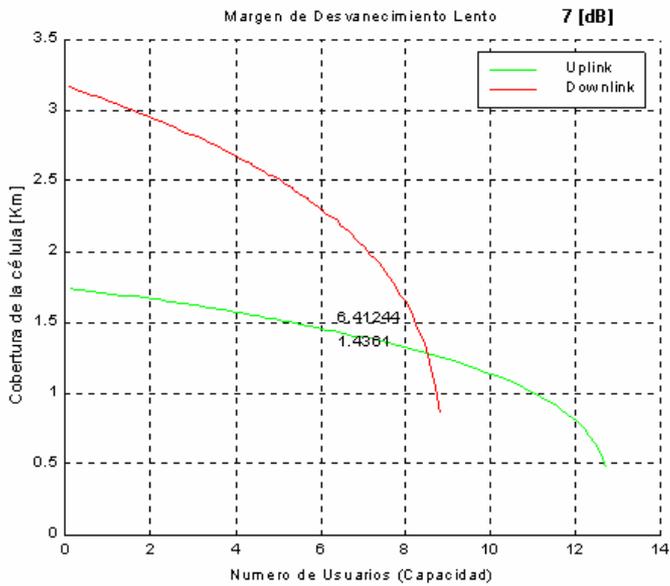


Figura 5.3.5 Desvanecimiento Lento: 3 Km/h → 144 Kbps

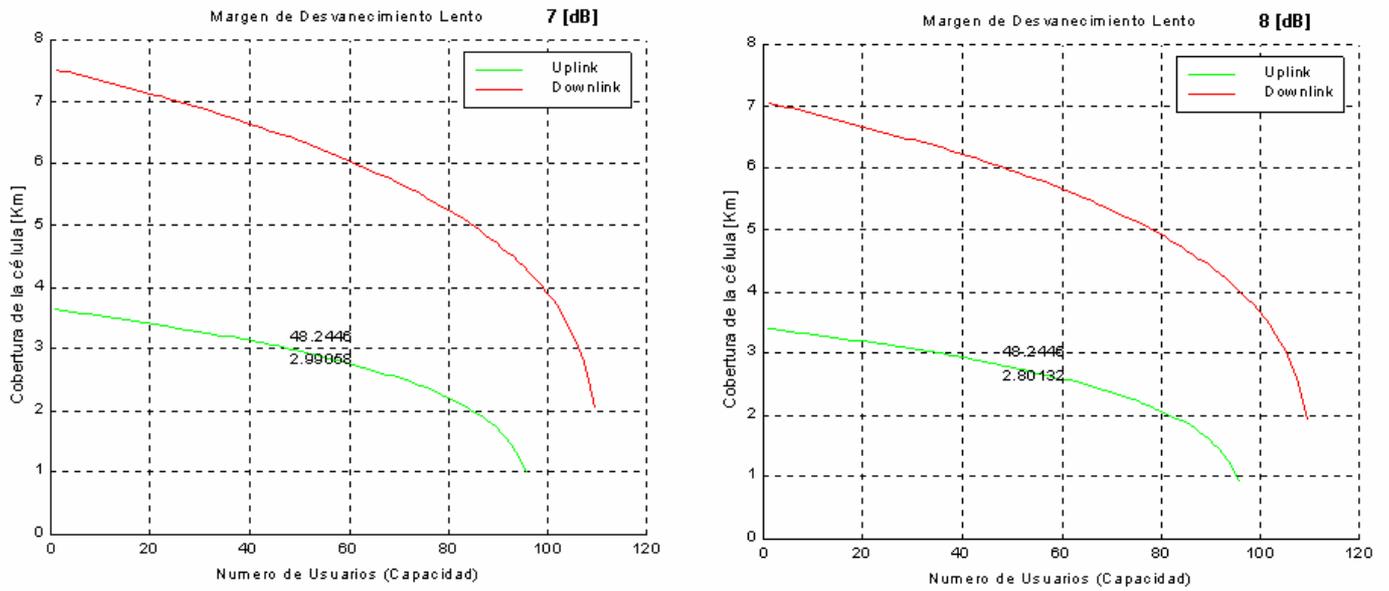


Figura 5.3.6 Desvanecimiento Lento: 120 Km/h → Voz (12.2 Kbps)

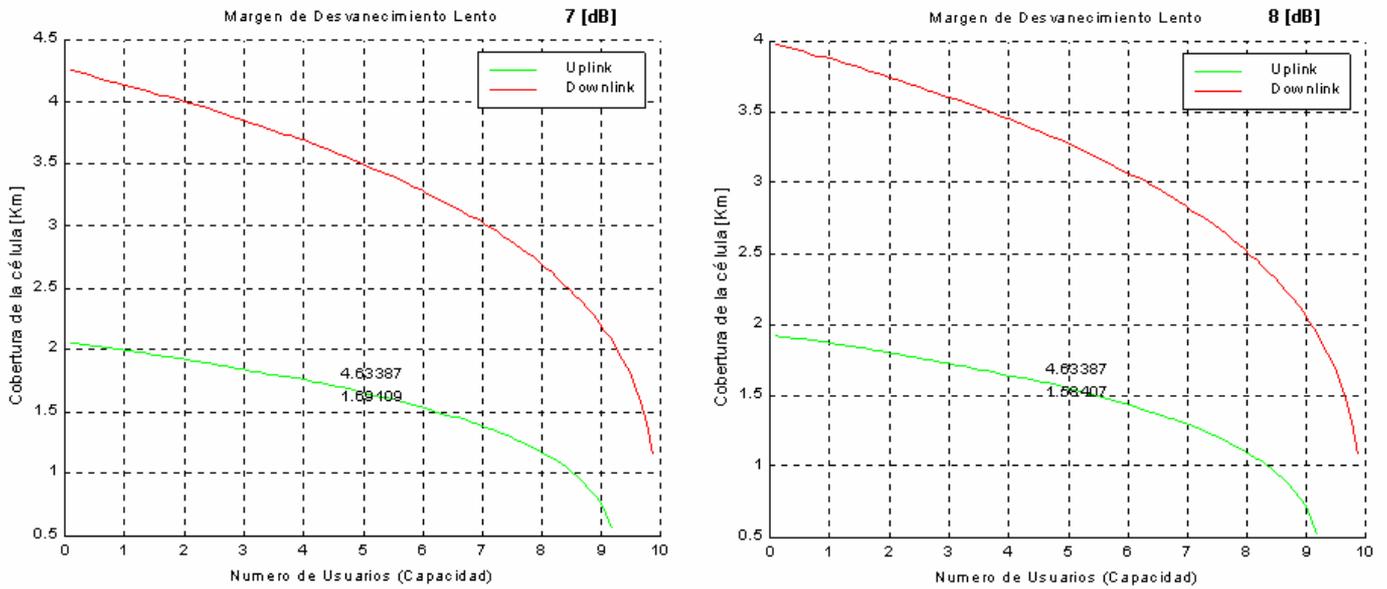


Figura 5.3.7 Desvanecimiento Lento: 120 Km/h → 144 Kbps

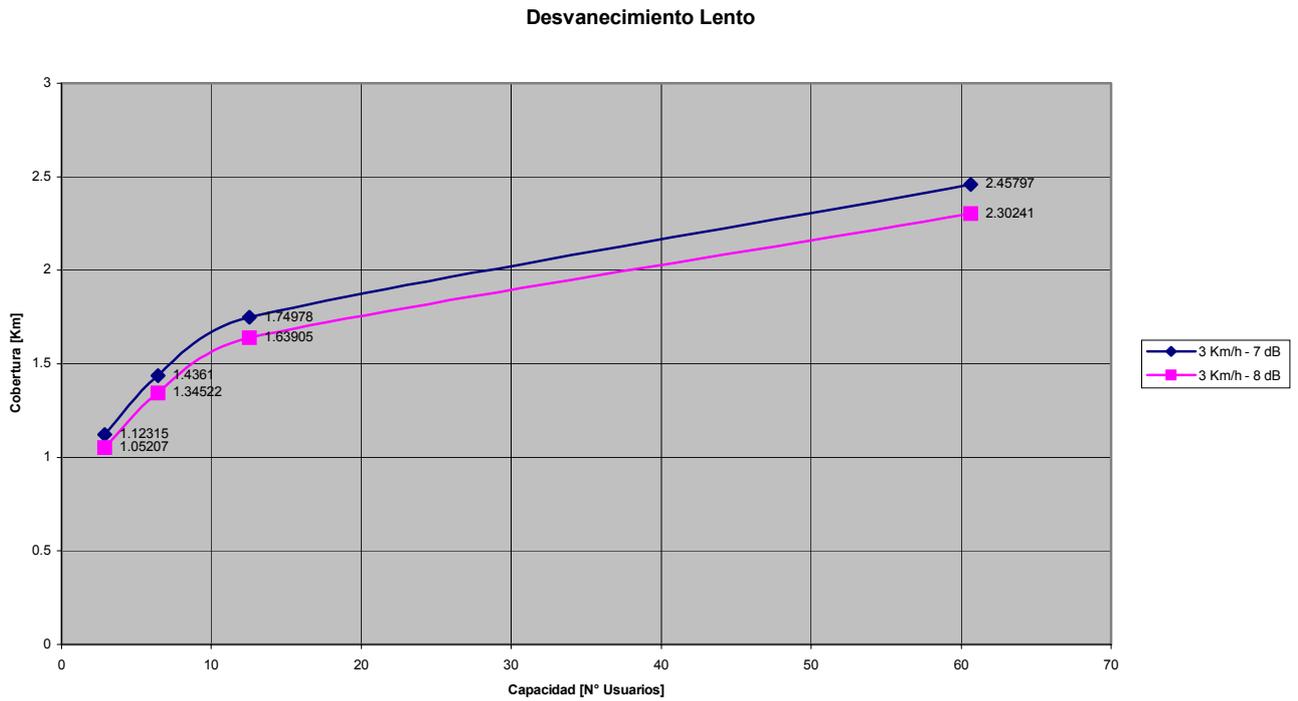
De las gráficas anteriores podemos observar lo siguiente:

*“Cuando se establece un margen de desvanecimiento mayor, la capacidad se mantiene constante, mientras que la cobertura disminuye en un promedio de 6.33%.”*

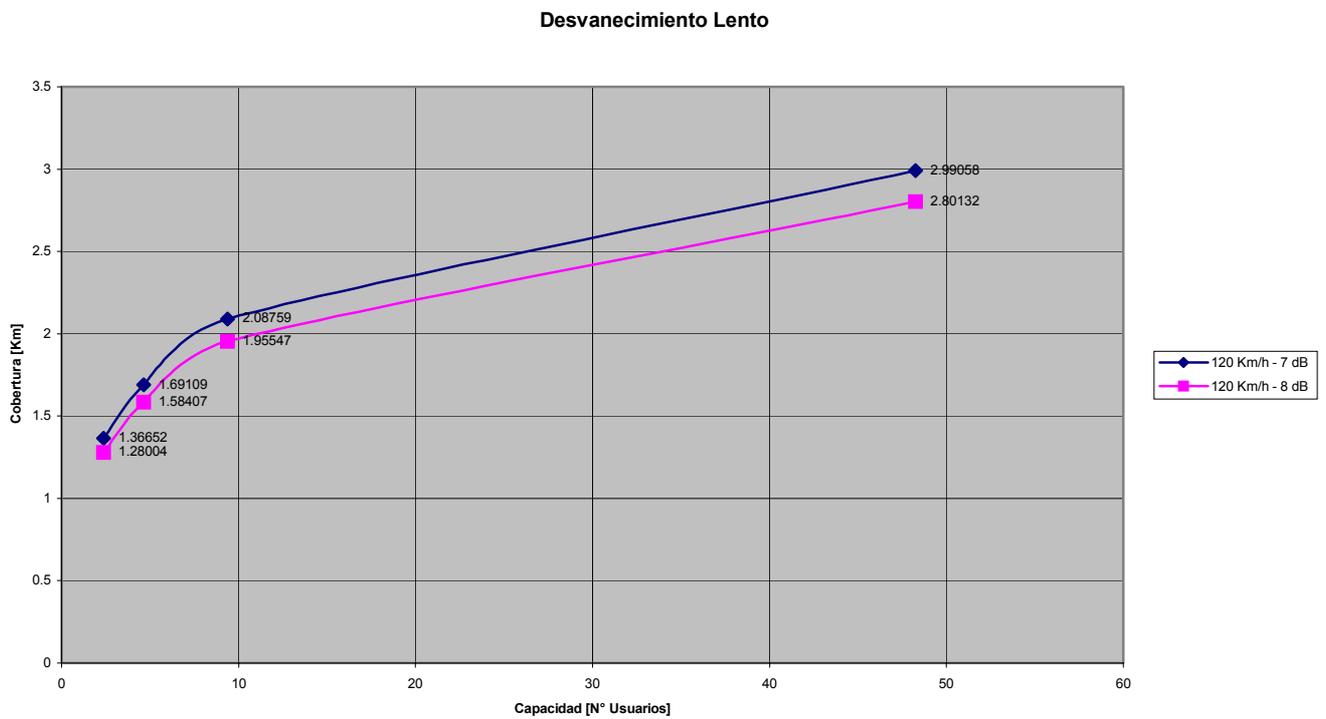
Servicio	3 Km/h				120 Km/h			
	7 [dB]		8 [dB]		7 [dB]		8 [dB]	
Margen de “Slow Fading”	Capacidad	Cobertura	Capacidad	Cobertura	Capacidad	Cobertura	Capacidad	Cobertura
	[Usuarios]	[Km]	[Usuarios]	[Km]	[Usuarios]	[Km]	[Usuarios]	[Km]
Voz (12.2 Kbps)	60.6528	2.45797	60.6528	2.30241	48.2446	2.99058	48.2446	2.80132
64 Kbps	12.5347	1.74978	12.5347	1.63905	9.37552	2.08759	9.37552	1.95547
144 Kbps	6.41244	1.4361	6.41244	1.34522	4.63387	1.69109	4.63387	1.58407
384 Kbps	2.88493	1.12315	2.88493	1.05207	2.35793	1.36652	2.35793	1.28004

**Tabla 5.3.1** Capacidad y Cobertura de acuerdo al “Margen de Desvanecimiento Lento”

Al variar el margen de desvanecimiento lento, la capacidad se mantiene constante debido a que éste factor no está alterando el margen de interferencia producido por la cantidad de usuarios y por tanto el número de usuarios se mantiene constante; en otras palabras podemos decir que el efecto de desvanecimiento lento es independiente de la cantidad de usuarios en una célula. No así con la cobertura, en donde el desvanecimiento lento está directamente involucrado en las pérdidas máximas totales de la potencia de la señal, originando una disminución en la cobertura aproximada del 6.33%.



**Figura 5.3.8** Cobertura - Desvanecimiento Lento (3 Km/h)



**Figura 5.3.9** Cobertura - Desvanecimiento Lento (120 Km/h)

De la figura 5.3.10 observamos que si nosotros determinamos la potencia mínima (en una red celular se tiene conocimiento sobre los niveles mínimos de potencia en dB's que una UE puede alcanzar a recibir) con la cual la UE puede aún recibir la señal con una calidad aceptable, se necesitan establecer los márgenes de desvanecimiento lento que la señal puede sufrir. Si nosotros consideramos que el ambiente donde se encuentran los usuarios es aceptable, podemos fijar márgenes menores de desvanecimiento lento (por ejemplo 7 dB) con lo cual obtendremos una cobertura mayor y podemos estar seguros que aún teniendo más pérdidas de trayecto se podrá garantizar la cobertura establecida. Si por las condiciones del ambiente es necesario fijar mayores márgenes de desvanecimiento lento, tendremos que asegurarnos que las pérdidas de trayecto sean menores para asegurar que la potencia de la señal no esté por debajo de la potencia mínima y por tal motivo la cobertura se deberá reducir.

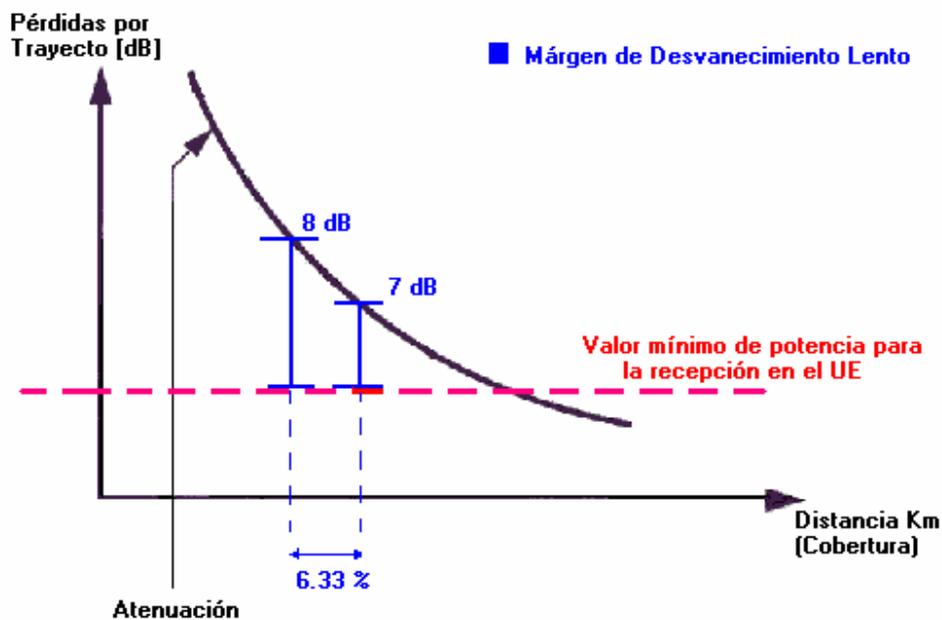
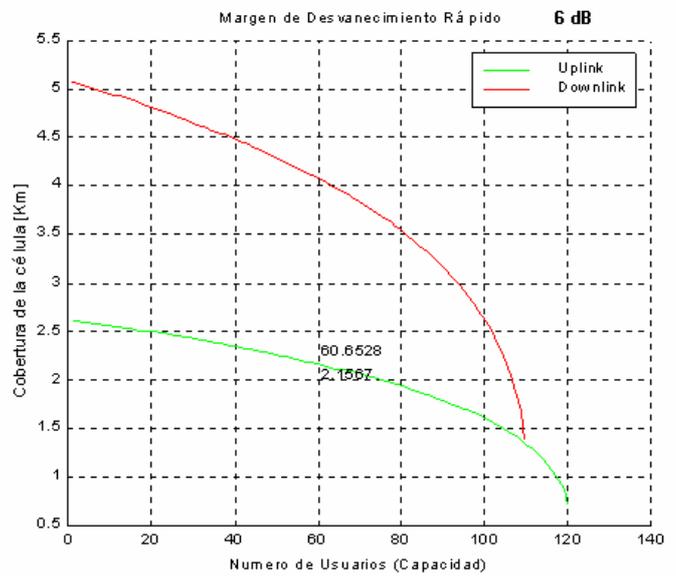
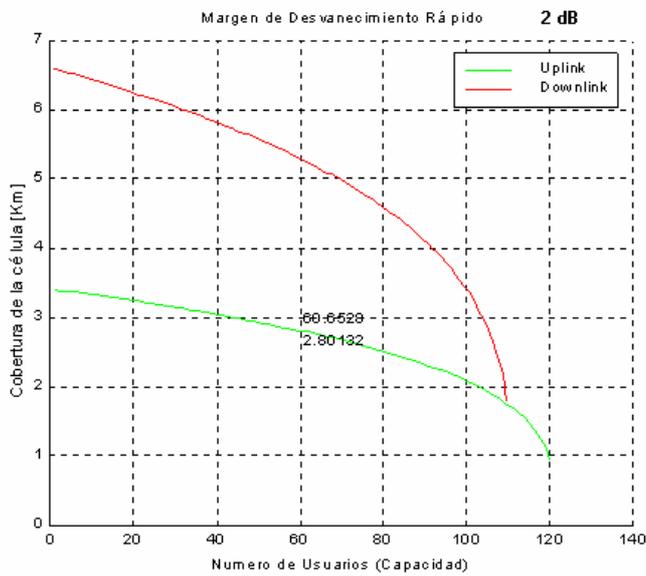


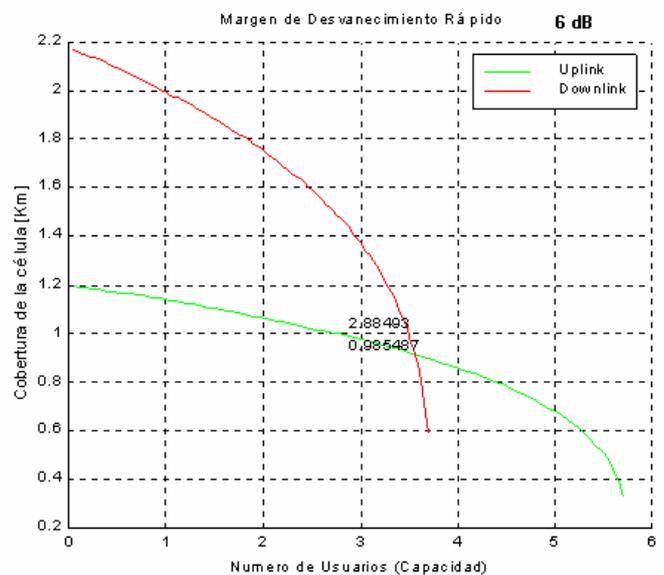
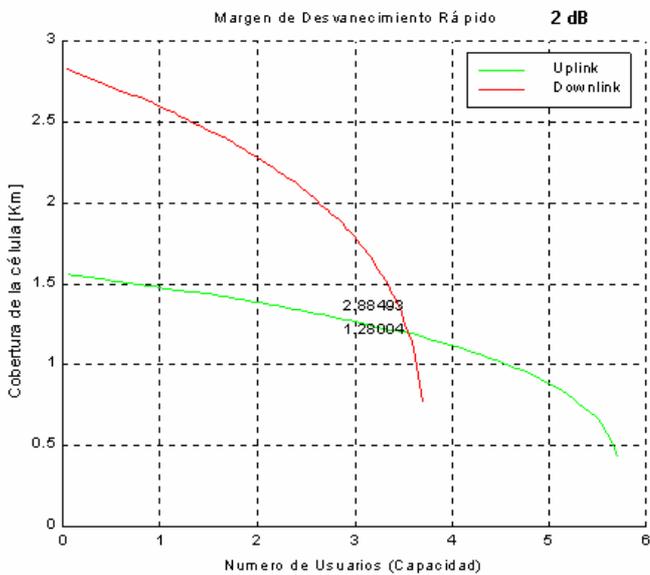
Figura 5.3.10 Efecto del Desvanecimiento Lento

### 5.3.3 Desvanecimiento Rápido

En la fase de dimensionamiento de una red celular UMTS es necesario fijar un margen de desvanecimientos rápidos (al igual que los márgenes de desvanecimiento lento) con el motivo de obtener las pérdidas máximas posibles que la señal puede sufrir tomando en cuenta estos desvanecimientos. A velocidades menores el margen de desvanecimiento rápido generalmente es fijado entre 2 – 6 dB, mientras que a velocidades mayores (mayores a 80 Km/h) el valor del margen desvanecimiento rápido es fijado a 0 dB; lo anterior es debido a que a velocidades menores el efecto del desvanecimiento rápido es más prominente. Por lo anterior, el siguiente análisis es presentado tomando en cuenta una velocidad del UE de 3 Km/h.



**Figura 5.3.11** Desvanecimiento Rápido: 3 Km/h → Voz (12.2. Kbps)



**Figura 5.3.12** Desvanecimiento Rápido: 3 Km/h → 384 Kbps

Los efectos producidos al establecer un margen de desvanecimiento rápido más alto, son similares a los del margen de desvanecimiento lento, en donde la capacidad se mantendrá constante mientras la cobertura sufre una disminución aproximada del 6.3 %. La razón del por qué lo anterior sucede es exactamente la misma de lo ya explicado en párrafos

anteriores del desvanecimiento lento, en donde al estimar un margen de desvanecimiento rápido más grande se necesitará compensar con unas pérdidas de trayecto menores y por lo tanto la única manera de garantizar estas pérdidas menores será a través de una reducción en la cobertura.

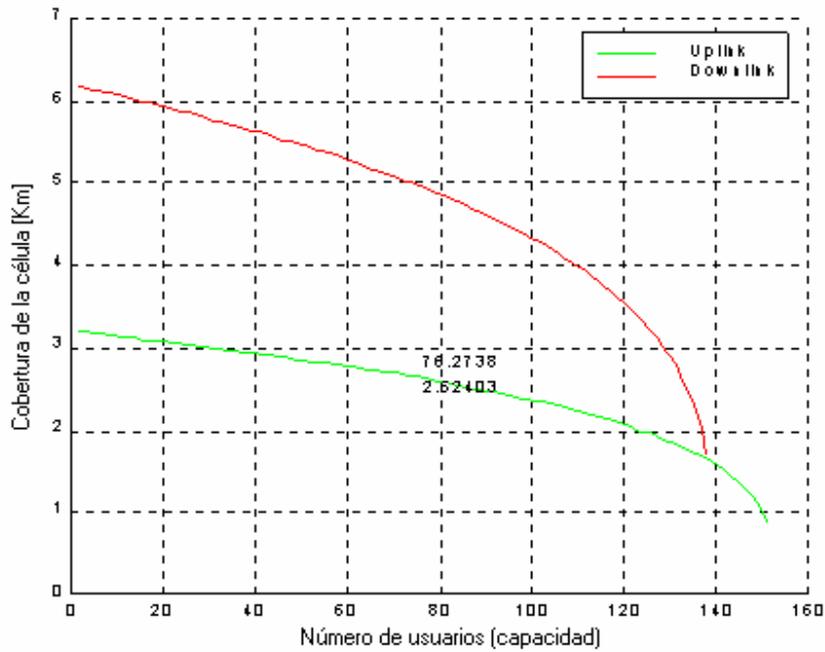
Servicio	3 Km/h									
	2 [dB]		3 [dB]		4 [dB]		5 [dB]		6 [dB]	
	Capacidad [Usuarios]	Cobertura [Km]								
Voz (12.2 Kbps)	60.6528	2.80132	60.6528	2.62403	60.6528	2.45797	60.6528	2.30241	60.6528	2.1567
64 Kbps	12.5347	1.99421	12.5347	1.868	12.5347	1.74978	12.5347	1.63905	12.5347	1.53532
144 Kbps	6.41244	1.63671	6.41244	1.53313	6.41244	1.4361	6.41244	1.34522	6.41244	1.26008
384 Kbps	2.88493	1.28004	2.88493	1.19903	2.88493	1.12315	2.88493	1.05207	2.88493	0.985487

**Tabla 5.3.2** Capacidad y Cobertura de acuerdo al “Margen de Desvanecimiento Rápido”

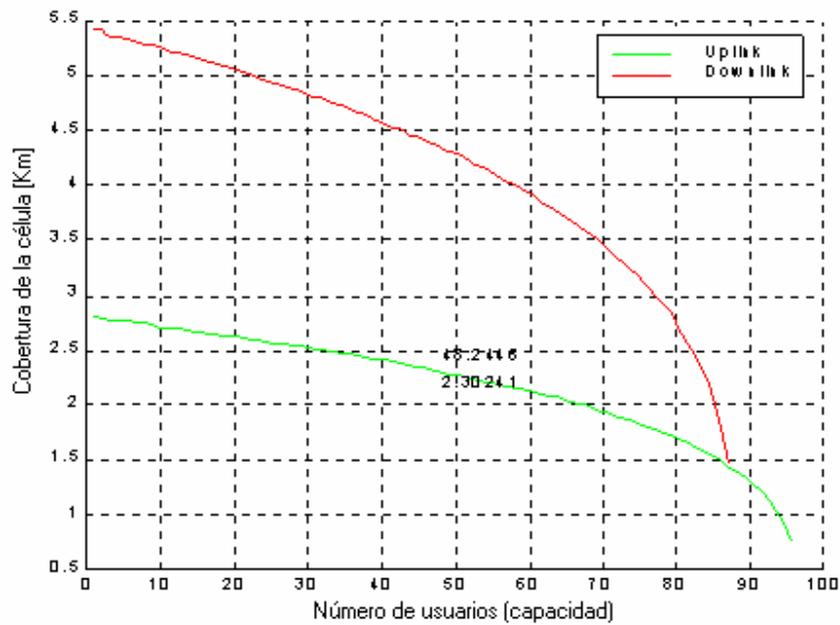
En un ambiente suburbano se debe considerar ambos márgenes de desvanecimientos (lento y rápido) ya que el desvanecimiento rápido es causado por las obstrucciones cerca del móvil en el rango de cinco a cincuenta metros (por ejemplo edificios, puentes, árboles, etc.), mientras que el desvanecimiento lento es causado por las obstrucciones topográficas (cerros, montañas, etc.).

### 5.3.4 Eb/No

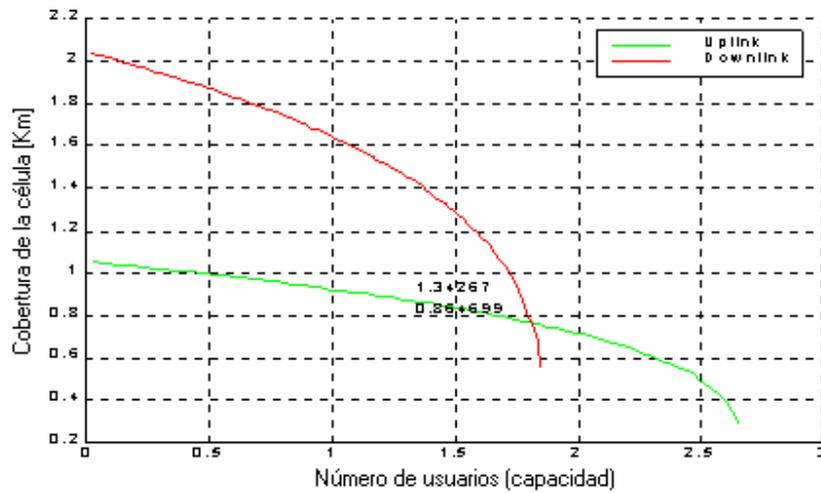
Para observar el efecto que se presenta al hacer variar la relación Eb/No se presentan las siguientes gráficas en las que se hará variar la relación Eb/No manteniendo el resto de los elementos del RLB constantes.



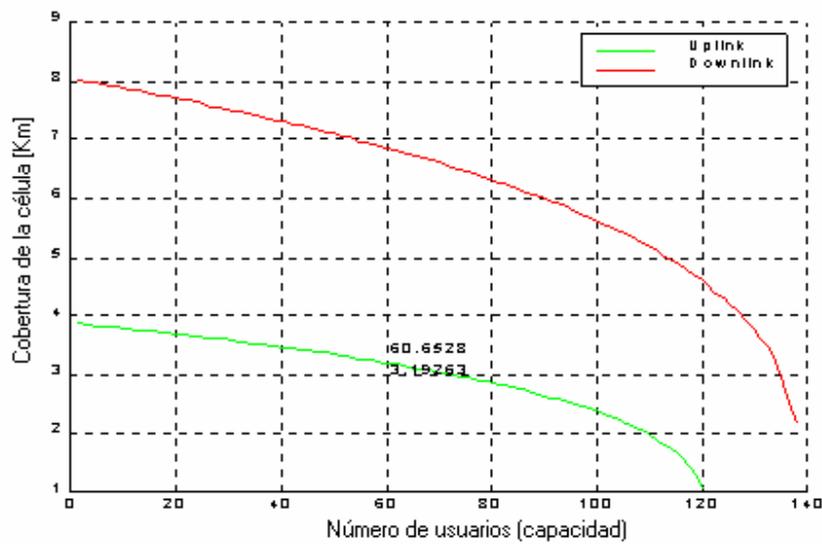
**Figura 5.3.13** Velocidad = 3 km/h, Tasa de transmisión = 12.2 kbps,  $E_b/N_0$  para UL = 3 dB,  $E_b/N_0$  para DL = 5.5 dB



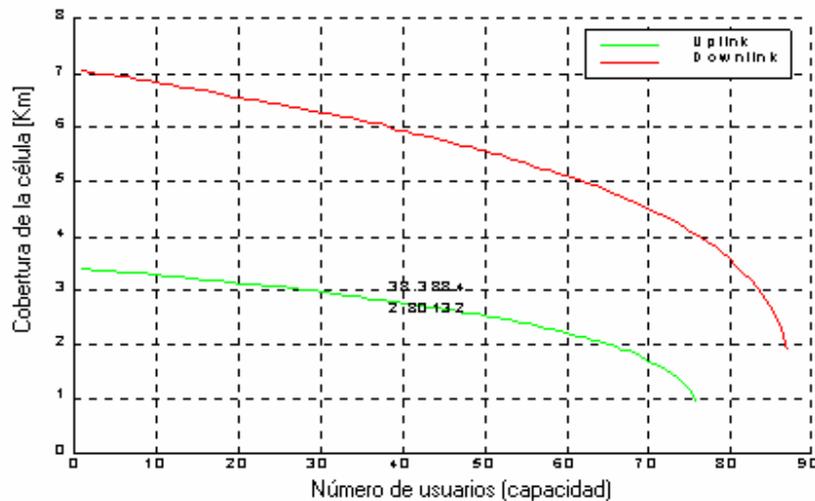
**Figura 5.3.14** Velocidad = 3 km/h, Tasa de transmisión = 12.2 kbps,  $E_b/N_0$  UL = 5 dB,  $E_b/N_0$  DL = 7.5 dB



**Figura 5.3.15** Velocidad = 3 km/h, Tasa de transmisión = 384 kbps,  $E_b/N_0$  UL = 5 dB,  $E_b/N_0$  DL = 7.5 dB



**Figura 5.3.16** Velocidad = 120 km/h, Tasa de transmisión = 12.2 kbps,  $E_b/N_0$  para UL=4 dB,  $E_b/N_0$  para DL = 5.5 dB



**Figura 5.3.17** Velocidad = 120 km/h, Tasa de transmisión = 12.2 kbps,  $E_b/N_0$  para UL = 4 dB  $E_b/N_0$  para DL = 5.5 dB

Se puede observar en las gráficas anteriores que un aumento en la relación  $E_b/N_0$  significa una reducción en la capacidad y la cobertura.

Como se puede ver en la descripción de los elementos del RLB la relación  $E_b/N_0$  está dada por las siguientes expresiones para cada uno de los enlaces:

Para el enlace ascendente: 
$$E_b / N_0 = \frac{W}{R} \frac{P_{rx}}{I}$$

Para el enlace descendente: 
$$E_b / N_0 = \frac{W}{R} \frac{P_{rx}}{I_{own} \cdot (1 - \alpha) + I_{oth} + P_N}$$

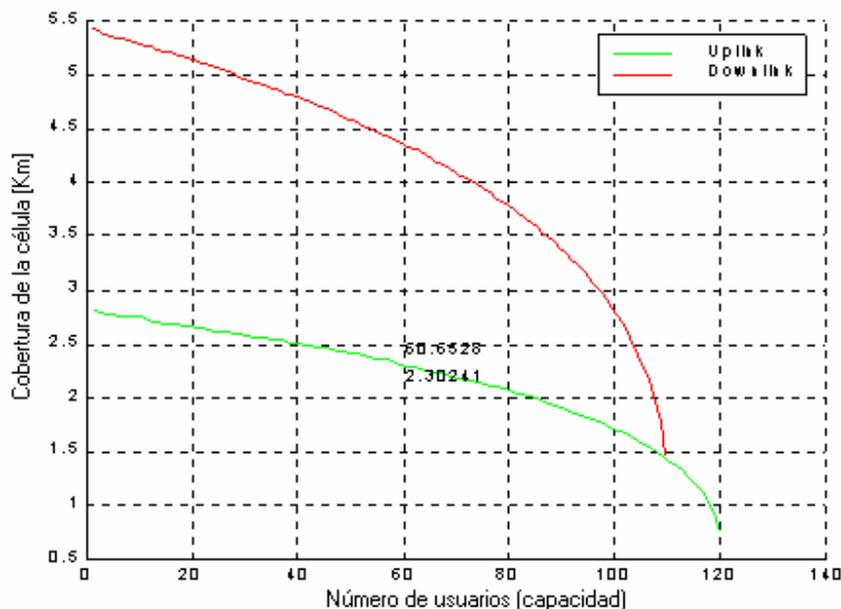
Donde  $p_{rx}$  es la potencia de la señal recibida,  $W$  el ancho de banda,  $R$  la tasa de bit,  $I$  la potencia de la interferencia recibida,  $I_{own}$  la interferencia intracélula,  $I_{oth}$  la interferencia intercélula,  $P_N$  la potencia de ruido y  $\alpha$  el factor de ortogonalidad.

En las figuras 5.3.13 y 5.3.14 se tiene que manteniendo una velocidad de 3 km/h para el mismo tipo de servicio pero aumentando el  $E_b/N_0$  en 2 dB la capacidad disminuye en un 36% y la cobertura en un 11.5% y en las figuras 5.3.16 y 5.3.17 a una velocidad de 120 km/h manteniendo el mismo tipo de servicio pero aumentando el  $E_b/N_0$  en 2 dB el número de usuarios disminuye en un 36.6% y la cobertura en un 31%. Esto se debe como se puede ver en las ecuaciones anteriores a que el  $E_b/N_0$  es un parámetro que se encuentra relacionado directamente con la potencia de la señal transmitida por lo que para alcanzar un  $E_b/N_0$  mayor es necesario un incremento en la potencia de transmisión que asegure cumplir con el  $E_b/N_0$  establecido, esto implica directamente una reducción del radio de cobertura de la célula debido a la limitante de potencia de los móviles, de la misma forma para

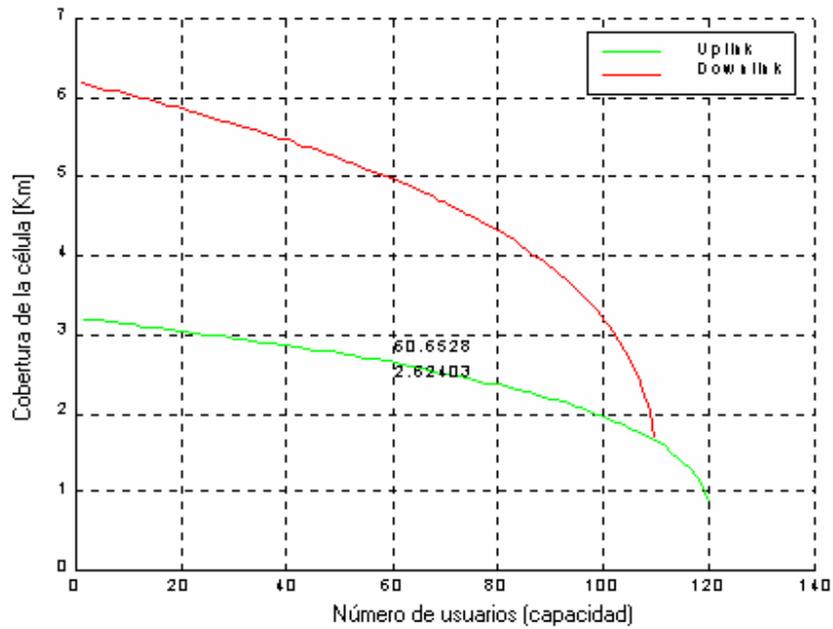
mantener un  $E_b/N_0$  mayor se debe reducir la interferencia de la célula lo cual se logra llevando a cabo una reducción directa en el número de usuarios. Por lo tanto si se obtiene una mejora en la relación  $E_b/N_0$ , si se logra que el requisito sea menor es posible simultáneamente mejorar tanto la capacidad como la cobertura del sistema. Este es el resultado de que el  $E_b/N_0$  requerido en la planificación inicial aparezca en el "link budget" y en la ecuación de carga. Es importante notar que el  $E_b/N_0$  además varía de forma directamente proporcional con la ganancia de procesamiento, por ese motivo para los servicios con tasa de bit mayor, el  $E_b/N_0$  que se alcanza con una potencia constante es menor, lo que ocasiona que para poder alcanzar el  $E_b/N_0$  requerido se tenga que reducir el radio de cobertura de la célula y disminuir la interferencia que también implica una reducción en la capacidad de la célula, en la figura 5.3.15 se puede observar este fenómeno.

### 5.3.5 Ganancia de Traspasos Suaves

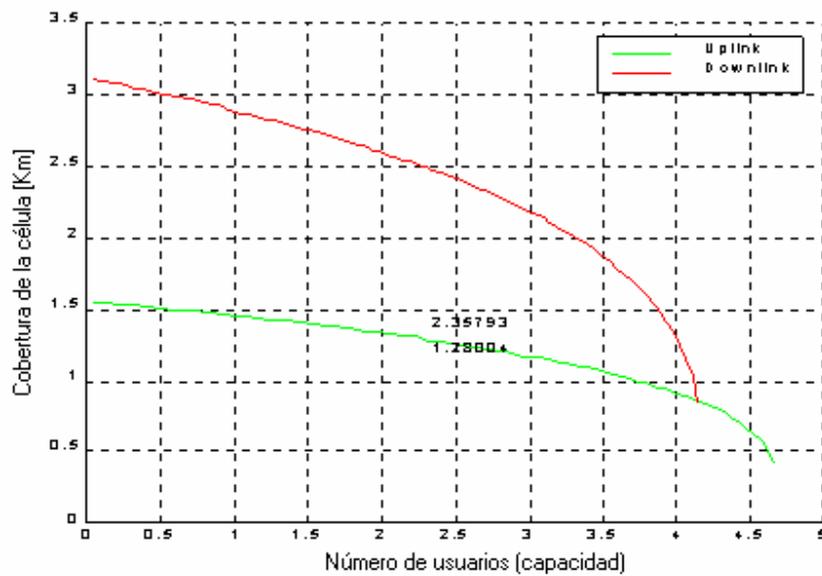
La ganancia de traspasos suaves puede tomar valores típicos de 2 a 3 dB, para mostrar el efecto que tiene éste parámetro en la capacidad y cobertura de la célula, se presentarán las simulaciones para variaciones de 2 a 4 dB para diferentes velocidades y tipos de servicio.



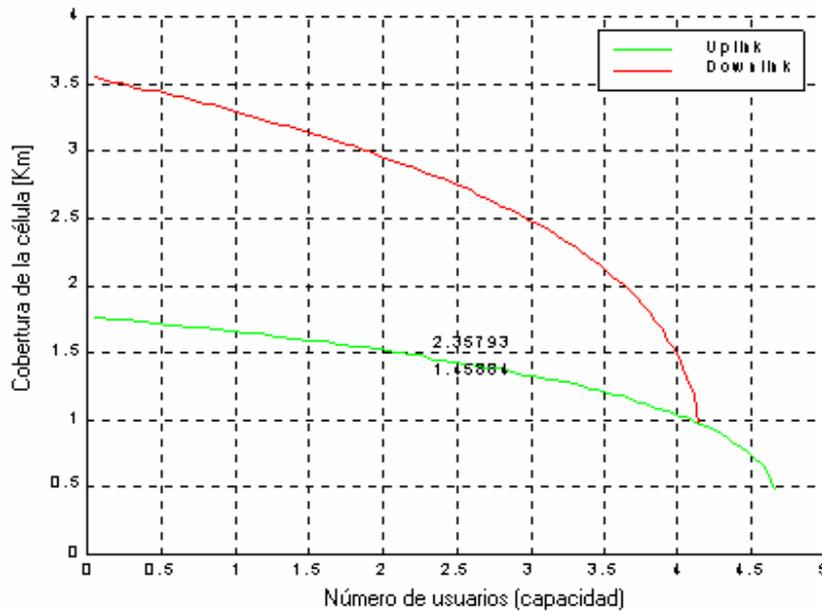
**Figura 5.3.18** Velocidad = 3 km/h, Tasa de transmisión = 12.2 kbps, Ganancia de traspasos suaves = 4 dB.



**Figura 5.3.19** Velocidad = 3 km/h, Tasa de transmisión = 12.2 kbps, Ganancia de traspasos suaves = 4 dB.



**Figura 5.3.20** Velocidad = 120 km/h, Tasa de transmisión = 384 kbps, Ganancia de traspasos suaves = 2 dB.



**Figura 5.3.21** Velocidad = 120 km/h, Tasa de transmisión = 384 kbps, Ganancia de traspasos suaves = 4 dB.

Servicio y Velocidad	Velocidad = 3 Km/h	Velocidad =120 Km/h
<b>Tasa de bits = 12.2 kbps</b>	Ganancia = 2 dB Usuarios = 60.65 Cobertura = 2.3 Km	Ganancia = 2 dB Usuarios = 48.24 Cobertura = 2.8 Km
	Ganancia = 4 dB Usuarios = 60.65 Cobertura = 2.6 Km	Ganancia = 4 dB Usuarios = 48.24 Cobertura = 3.19 Km
<b>Tasa de bits = 384 kbps</b>	Ganancia = 2 dB Usuarios = 2.88 Cobertura = 1.05 Km	Ganancia = 2 dB Usuarios = 2.35 Cobertura = 1.28 Km
	Ganancia = 4 dB Usuarios = 2.88 Cobertura = 1.19 Km	Ganancia = 4 dB Usuarios = 2.35 Cobertura = 1.46 Km

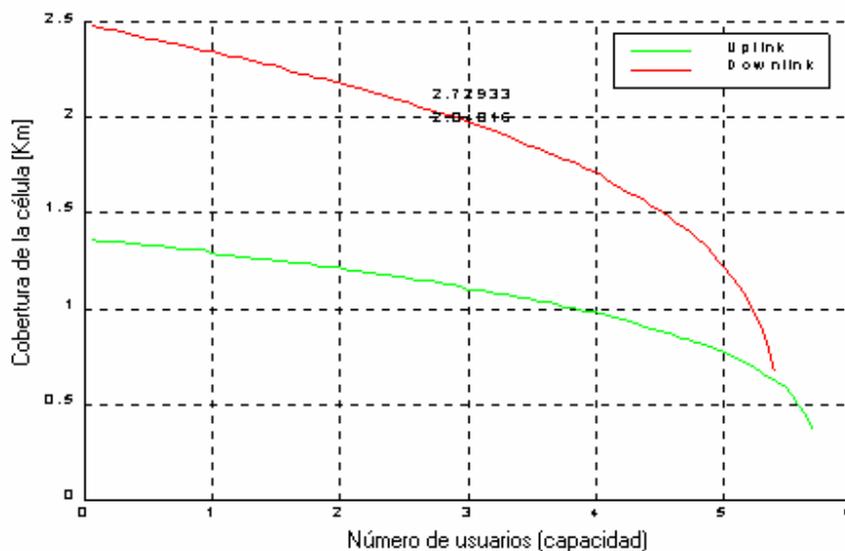
**Tabla 5.3.3** Efectos en capacidad y cobertura de la ganancia de traspaso suave.

El efecto de la ganancia de traspaso suave se observa en la cobertura de la célula, al aumentar su valor también aumenta la cobertura de la célula mientras que la carga se mantiene constante debido a que éste elemento solo se encuentra en el RLB y no en las ecuaciones para el factor de carga.

El efecto de la ganancia de traspasos suaves en la cobertura se ocasiona porque las máximas pérdidas de trayecto permitidas en el RLB aumentan su valor cuando ésta ganancia también lo hace y por consiguiente el radio de la célula también aumenta, esto se debe a que la ganancia de traspasos suaves proporciona una ganancia contra el desvanecimiento lento permitiendo al móvil seleccionar un mejor nodo B y contra el desvanecimiento rápido reduciendo el  $E_b/N_0$  requerido.

### 5.3.6 Factor de Ortogonalidad $\alpha$ en el enlace descendente

Para observar el efecto que tiene mejorar el factor de ortogonalidad en la capacidad y la cobertura se presentan los siguientes ejemplos en los que se mantienen los elementos del RLB constantes y se hace variar el factor de ortogonalidad. En canales multitrayecto típicos el factor de ortogonalidad se encuentra entre 0.4 y 0.9.



**Figura 5.3.22** Velocidad = 3 km/h, Tasa de Transmisión = 384 kbps,  $\alpha = 0.4$

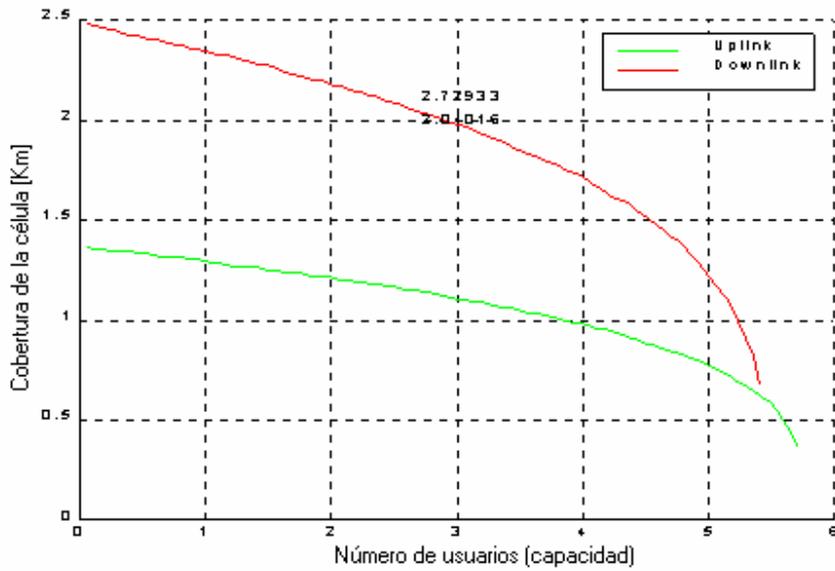


Figura 5.3.23 Velocidad = 3 km/h, Tasa de Transmisión = 384 kbps,  $\alpha = 0.9$

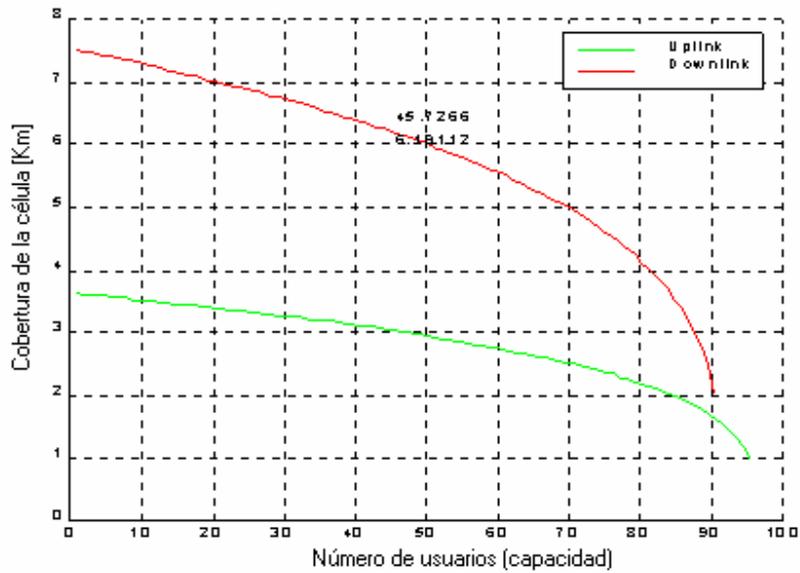


Figura 5.3.24 Velocidad = 120 km/h, Tasa de Transmisión = 12.2 kbps,  $\alpha = 0.4$

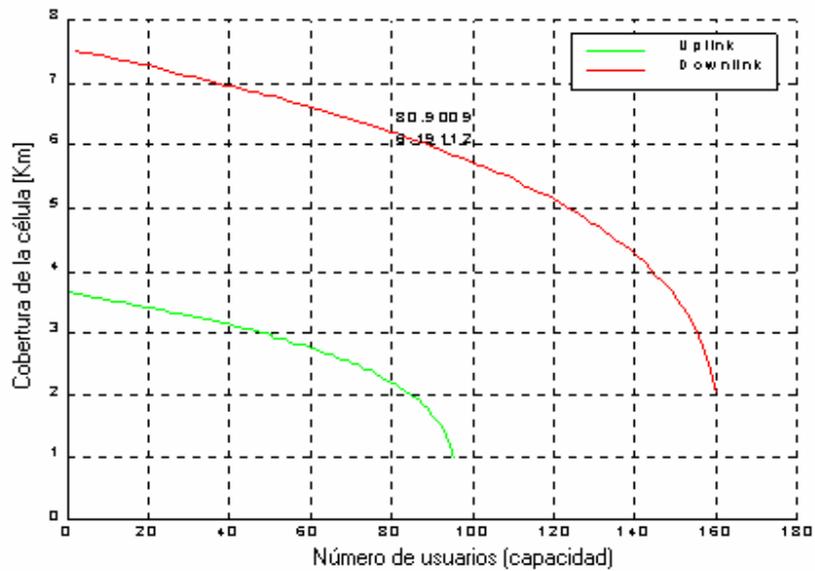


Figura 5.3.25 Velocidad = 120 km/h, Tasa de Transmisión = 12.2 kbps,  $\alpha = 0.9$

Servicio y Velocidad	Velocidad = 3 Km/h	Velocidad =120 Km/h
Tasa de bits = 12.2 kbps	$\alpha = 0.4$ Usuarios = 45.7 Cobertura = 4.7 km	$\alpha = 0.4$ Usuarios = 45.7 Cobertura = 6.2 km
	$\alpha = 0.9$ Usuarios = 80.9 Cobertura = 4.7 km	$\alpha = 0.9$ Usuarios = 80.9 Cobertura = 6.2 km
Tasa de bits = 384 kbps	$\alpha = 0.4$ Usuarios = 1.54 Cobertura = 2.0 km	$\alpha = 0.4$ Usuarios = 1.73 Cobertura = 2.73 km
	$\alpha = 0.9$ Usuarios = 2.72 Cobertura = 2.0 km	$\alpha = 0.9$ Usuarios = 3.06 Cobertura = 2.73 km

Tabla 5.3.4 Efectos en capacidad y cobertura del factor de ortogonalidad.

De los resultados obtenidos podemos asegurar que manteniendo la velocidad y la tasa de transmisión constantes así como el resto de los elementos del RLB constantes también, una mejora en el factor de ortogonalidad implicará un incremento en la capacidad o número de usuarios soportados por la célula en el enlace descendente.

Esto se debe a que el factor de ortogonalidad está presente al calcular el factor de carga en el enlace descendente como se puede ver a continuación:

$$\eta_{DL} = \sum_{j=1}^N \nu_j \cdot \frac{(E_b/N_0)_j}{W/R_j} \cdot [(1 - \alpha_j) + i_j]$$

En la ecuación del factor de carga para el enlace descendente se puede deducir que entre mayor sea el factor de ortogonalidad el factor de carga será menor para un número constante de usuarios, es decir que un mayor número de usuarios podrá estar en el área de servicio de la célula causando un menor incremento en el factor de carga de la célula.

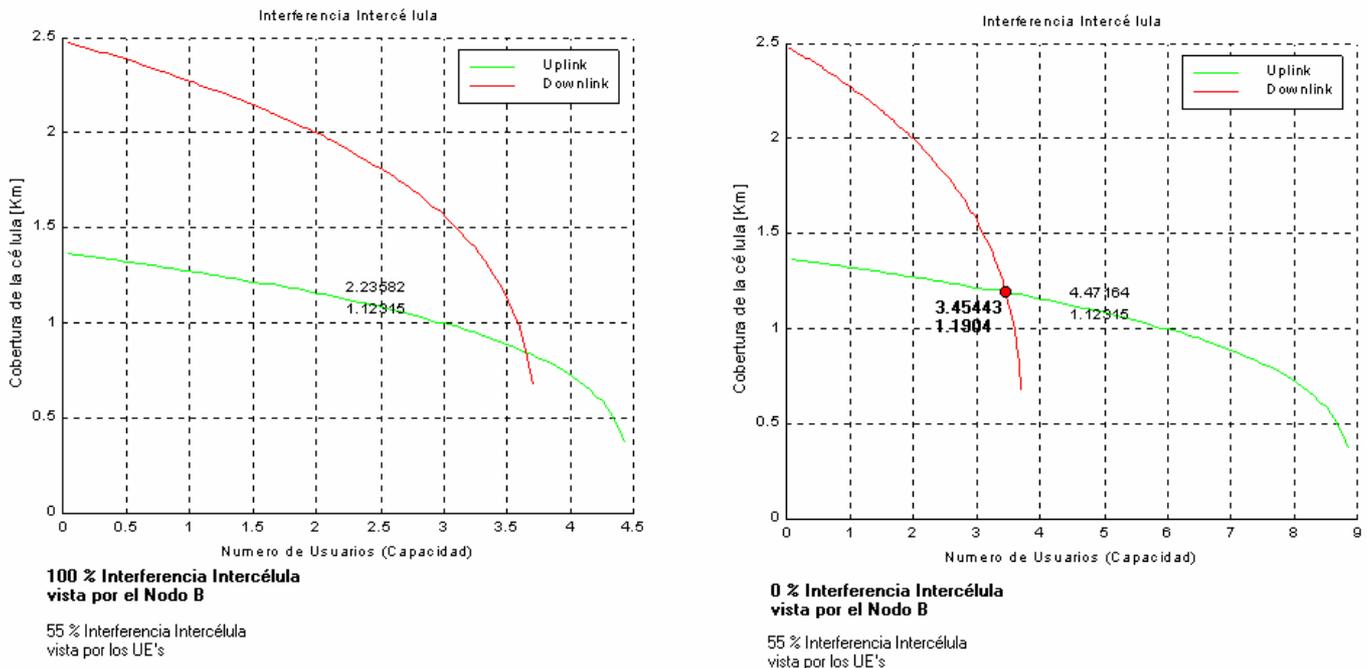
También se ha visto en las secciones anteriores que la relación Eb/No en el enlace descendente aumenta cuando el factor de ortogonalidad lo hace también, entonces para alcanzar un Eb/No requerido en el enlace descendente se puede aumentar el factor de ortogonalidad.

En las figuras y la tabla de resultados mostradas se puede observar que sin importar la tasa de transmisión o la velocidad del móvil un incremento en el factor de ortogonalidad origina un aumento de aproximadamente el 43% en el número de usuarios al pasar de un factor de ortogonalidad de 0.4 a uno de 0.9 que sería el más próximo al ideal. Lo anterior es justificable por el hecho de que si se utilizan códigos completamente ortogonales en las señales originadas desde el nodo B, la interferencia intra célula puede evitarse completamente aumentando de ese modo la capacidad de la célula, sin embargo dado que existen componentes multitrayecto parte de la ortogonalidad de las señales se pierde y la interferencia sigue existiendo en el downlink aunque se puede disminuir en un factor proporcional al factor de ortogonalidad.

### **5.3.7 Interferencia Intercélula**

La interferencia intercélula no es tan prominente y crítica como la interferencia intracelular, es decir, que la mayor parte de la interferencia es producida y ocurrida dentro la misma célula en estudio. A pesar de lo anterior, observaremos en este punto el efecto que tendría la interferencia intercelular cuando ésta tienda a ser demasiado grande.

El análisis que se atenderá será sola para la interferencia intercélula vista por la estación base o Nodo B, en otras palabras, toda aquella interferencia captada por el Nodo B y originada por los móviles pertenecientes a otras celdas.

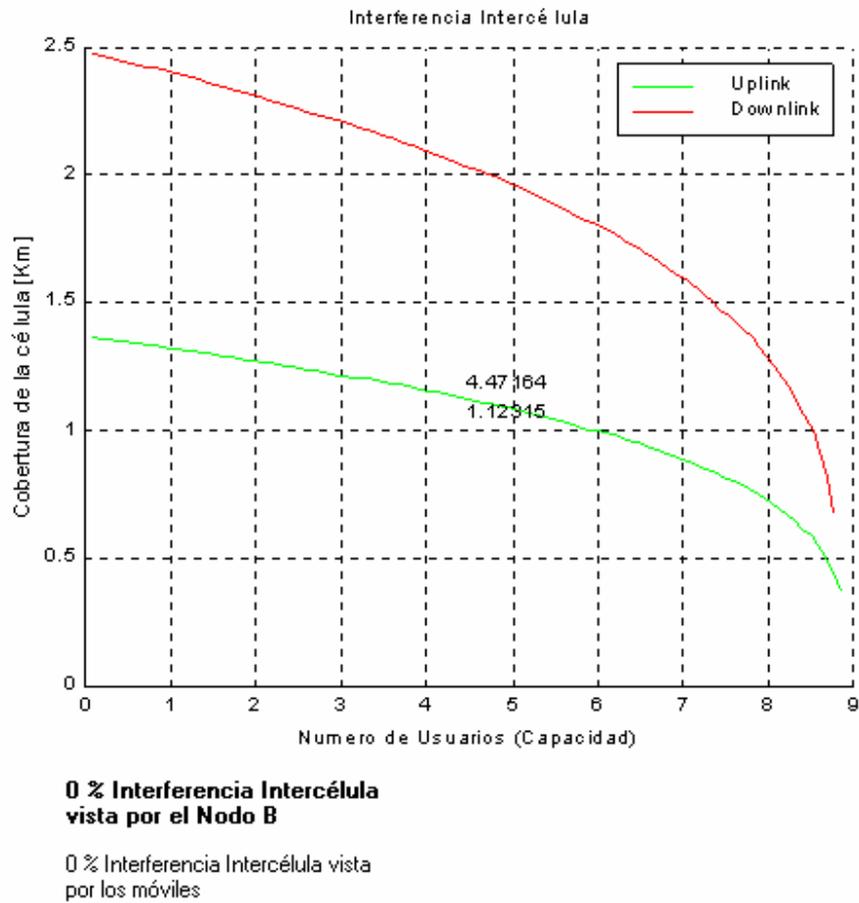


**Figura 5.3.26** Interferencia Intercelular vista por el Nodo B (enlace ascendente)

De la figura 5.3.26 nosotros podemos observar que si la interferencia intercélula vista por la estación base es del 100 % tenemos una cobertura del 1.12 Km y una capacidad de 2.23 usuarios. Si al disminuir la interferencia intercélula vista por la estación base o Nodo B a 0 %, no obtenemos un incremento en la cobertura, pero si logramos un incremento igual al 100 % de la capacidad, obteniendo 4.47 usuarios. Podemos decir entonces que la interferencia intercélula es inversamente proporcional a la capacidad de una celda.

Si embargo, en la misma figura 5.3.26 podemos notar que la capacidad obtenida en el enlace ascendente con un porcentaje de interferencia intercélula de 0 % no puede ser soportada por el enlace descendente que tiene un porcentaje de interferencia intercélula del 55 %. En otras palabras, la capacidad total de 4.47 usuarios no será soportada por el Nodo B. Con esos porcentajes de interferencia la máxima capacidad que podrá ser soportada por la estación base será de 3.45 usuarios (el punto de intersección de ambos enlaces) y por consecuencia al reducir los usuarios obtendremos una mínima ganancia de cobertura incrementándose a 1.19 Km.

Si disminuimos el porcentaje de interferencia intercélula vista por los UE's a 0 % lograremos que el enlace descendente soporte cualquier capacidad y cobertura establecidas en el enlace ascendente. En decir, estaremos garantizando por ejemplo en la figura 5.3.27 los 4.47 usuarios con una cobertura del 1.12 Km



**Figura 5.3.27** Interferencia Intercelular vista por el Nodo B y los UE's

Finalmente el porcentaje de la interferencia intercélula vista ya sea por la estación base o los móviles muy pocas veces podrá variarse, dado que es una interferencia proveniente de otras celdas. Aún así, esta interferencia en situaciones reales llega a ser “mucho menor” comparada con la interferencia que se produce dentro de la misma célula, por lo que para la planificación celular no será un parámetro primario o crítico.

## 5.4 Dimensionamiento de los RNC

Las redes móviles son demasiado grandes como para ser controladas por un solo RNC que manipule todo el tráfico, es por eso que el área completa se divide en regiones que son administradas por una sola RNC. El propósito del dimensionamiento de las RNCs es proporcionar el número de RNCs necesario para soportar el tráfico estimado. Es importante recordar que en la planificación inicial se asume que los sitios están distribuidos uniformemente a través del área del RNC y que llevan aproximadamente la misma cantidad de tráfico.

Existen algunos parámetros que limitan la capacidad de los RNC, los más importantes y que deben ser considerados son los siguientes:

- Máximo número de células (una célula se identifica por una frecuencia y un código scrambling).
- Máximo número Nodos B bajo una RNC
- Máxima capacidad (throughput) de la interfase Iub.
- Cantidad y tipo de interfaces (ej. STM-1, E1)

A continuación se muestra el cálculo del número de RNCs considerando los parámetros mencionados.

	Número de RNCs
RNCs necesarias para conectar cierto número de células.	$numRNCs = \frac{numCells}{cellsRNC * fillrateI}$ <p>donde:</p> <p>numCells: Número de células en el área que será dimensionada.</p> <p>cellsRNC: Máximo número de células que pueden conectarse a un RNC.</p> <p>fillrateI: Es un margen utilizado como margen de la capacidad máxima.</p>
RNCs necesarias para conectar cierto número de estaciones base.	$numRNCs = \frac{numBTSs}{btsRNC * fillrate2}$ <p>donde:</p> <p>numBTSs: Número de BTSs en el área que será dimensionada.</p>

	<p>btsRNC: Máximo número de BTSs que pueden conectarse a un RNC.</p> <p>Fillrate2: Es un margen utilizado como respaldo de la capacidad máxima.</p>
<p>RNCs necesarias para soportar el throughput en la interfase Iub.</p>	$numRNCs = \frac{VoiceTP + CSdataTP + PSdataTP}{tpRNC * fillrate3} * numsubs$ <p>donde:</p> <p>VoiceTP: <math>voiceErl * bitrate_{voice} * (1 + SHO_{voice})</math></p> <p>CSdataTP: <math>CSdataErl * bitrate_{CSdata} * (1 + SHO_{voice})</math></p> <p>PSdataTP: <math>avePSdata / PSoverhead * (1 + SHO_{PSdata})</math></p> <p>Son los throughputs para voz, datos en CS (conmutación por circuitos) y datos en PS (conmutación de paquetes).</p> <p>voiceErl: Tráfico de un usuario de voz, total de erlangs previstos por usuario durante la hora pico en el RNC.</p> <p>CSdataErl: Tráfico de un usuario de CS.</p> <p>avePSdata: Promedio de datos en PS por usuario. (Datos de L2 + encabezado introducido por el protocolo del Frame).</p> <p>PSoverhead: Retransmisiones del encabezado y L2.</p> <p>SHOm: Son los diferentes encabezados por servicio causados por soft handover.</p>

## 5.5 Caso Práctico de Planificación Celular en UMTS.

Una vez visto analizado todos los conceptos anteriores de este trabajo, se desarrollará un ejemplo práctico de la planificación celular para UMTS (WCDMA).

### 5.5.1 Requerimientos.

Los requerimientos que se necesita para el diseño de la red celular en este caso práctico son:

- Total de usuarios = 1500 (distribuidos uniformemente en un área de 750 Km<sup>2</sup>).
- Dimensionar la red para usuarios que utilizarán video en tiempo real (384 Kbps)
- Zona Geográfica: México, Distrito Federal.

### 5.5.2 Datos y suposiciones.

Dado que no se sabe con exactitud la distribución total de los usuarios en la zona descrita, para nuestra planificación se considerara una “*distribución uniforme*” de los usuarios y las células obtenidas se diseñarán con un factor de carga del 70 % (margen de interferencia de 5.22 dB); lo anterior con el fin de no utilizar la máxima capacidad de las celdas por una expansión futura de usuarios.

Así mismo se tomarán los siguientes datos iniciales para el desarrollo de nuestro ejemplo práctico:

- Tasa de bits (Video en tiempo real) = 384 Kbps
- Tasa de chips =  $W_c = 3.84$  Mchips/s
- Interferencia intercelular vista por el Nodo B (“Uplink”) =  $i_{UL} = 20$  %
- Interferencia intercelular vista por los UE’s (“Downlink”) =  $i_{DL} = 20$  %
- Densidad de Ruido Térmico = - 174 (dBm/Hz)
- Figura de ruido del Nodo B = 5 dB
- Figura de ruido de los UE’s = 8 dB
- Factor de ortogonalidad =  $\alpha = 80$  %
- Margen de Desvanecimiento Lento = 7 dB
- Margen de Desvanecimiento Rápido = 4 dB
- Ganancia de “Soft Handover” = 3 dB
- Potencia de los UE’s = 125 mW  $\rightarrow$  21 dBm
- Potencia de los Nodos B = 20 W  $\rightarrow$  43 dBm
- Ganancia de la antena de los Nodos B = 18 dBi
- Ganancia de la antena de los UE’s = 2 dBi
- Factor de actividad para datos =  $V_{datos} = 1$
- Pérdidas por dispositivos en los Nodos B = 2 dB

- Pérdidas por dispositivo en los UE's = 3 dB
- Eb/No requeridos:
  - UL → 1 dB
  - DL → 4.5 dB

### 5.5.3 Desarrollo.

Los cálculos tal y como lo hemos visto en la secciones anteriores se basarán en el enlace ascendente y únicamente se verificará que el enlace descendente soporte dicha capacidad y cobertura obtenidas en el “uplink”

#### ➤ Enlace Ascendente

##### Factor de Carga

Sabemos que el factor de carga para el enlace ascendente está dado por la función:

$$\eta_{UL} = (1+i) \cdot \sum_{j=1}^N \frac{1}{1 + \frac{W}{(E_b/N_o)_j * R_j * v_j}}$$

Y considerando los datos preliminares podemos describir la función anterior como:

$$\eta_{UL} = (1+i) * N * \frac{1}{1 + \frac{Gp_{384}}{\frac{E_b}{N_{0\ 384UL}} * V_{384}}}$$

Sustituyendo valores tenemos:

$$0.70 = 1.2 * N * \left( \frac{1}{1 + \frac{3.84e^6}{10^{1/10} * 1}} \right)$$

Por lo que el número de usuarios máximo (con un factor de carga del 70%) que soportará una celda será:

$$N_{UL} = 5 \text{ usuarios}$$

### Estimación de Radio Enlace (Cobertura)

Para saber la cobertura que tendrá la celda necesitaremos realizar una estimación del radio enlace:

- a) Calcular la PIRE

$$PIRE [dBm] = (\text{Potencia de los UE's}) + (\text{Ganancia de la antena de los UE's}) - (\text{Pérdidas por dispositivo en los UE's})$$

$$PIRE [dBm] = 21 \text{ dBm} + 2 \text{ dBi} - 3 \text{ dB} = 20 \text{ dBm}$$

- b) Calcular la Densidad de Ruido en el Receptor del Nodo B

$$Densd\_Ruid\_Recept\_NodoB [dBm/Hz] = (\text{Densidad de Ruido Térmico}) + (\text{Figura de ruido del Nodo B})$$

$$Densd\_Ruid\_Recept\_NodoB [dBm/Hz] = -174 \text{ dBm/Hz} + 5 \text{ dB} = -169 \text{ dBm/Hz}$$

- c) Calcular la Potencia de Ruido en el Receptor del Nodo B

$$Pot\_Ruid\_Recept\_NodoB [dBm] = (Densd\_Ruid\_Recept\_NodoB) + 10 \log_{10} (W_c)$$

$$Pot\_Ruid\_Recept\_NodoB [dBm] = -169 + 65.8433 = -103.157 [dBm]$$

- d) Calcular la Sensibilidad del Nodo B

$$Sensibilidad \text{ Nodo B } [dBm] = E_b/N_{oUL} - G_p + \text{Margen de interferencia} + Pot\_Ruid\_Recept\_NodoB$$

$$Sensibilidad \text{ Nodo B } [dBm] = 1 - 10 \log_{10} (3.84e^6 / 384e^3) + 5.23 - 103.157 = -106.927$$

- e) Calcular las Pérdidas Totales por Propagación:

$Pérd\_Tot\_Propag [dBm] = (PIRE) - (\text{Sensibilidad Nodo B}) + (\text{Ganancia de la antena de los Nodos B}) - (\text{Pérdidas por dispositivos en los Nodos B}) - (\text{Margen de Desvanecimiento Lento}) - (\text{Margen de Desvanecimiento Rápido}) + (\text{Ganancia de "Soft Handover"})$

$$Pérd\_Tot\_Propag [dBm] = 20 \text{ dBm} + 106.927 \text{ dBm} + 18 \text{ dBi} - 2 \text{ dB} - 7 \text{ dB} - 4 \text{ dB} + 3 \text{ dB} = 134.927 \text{ dBm}$$

f) Calcular el Radio de Cobertura

Haciendo uso de la ecuación (5.12), tenemos que el radio de cobertura de la celda es:

$$Radio [Km] = 10^{[(134.927 - 137.37) / 35.22]} = 0.85 \text{ Km}$$

<b>Radio [Km] <math>_{UL} = 0.85 \text{ Km}</math></b>
--

### ➤ Enlace Descendente

#### Factor de Carga

Como se mencionó anteriormente, se realizarán los cálculos en el enlace descendente solamente para verificar si con un factor de carga del 70 % se soporta los valores obtenidos en el enlace ascendente. El factor de carga para el enlace descendente está dado por:

$$\eta_{DL} = \sum_{j=1}^N V_j \cdot \frac{(E_b/N_0)_j}{W/R_j} \cdot [(1 - \alpha_j) + i_j]$$

Tomando los datos preliminares podemos describir la función anterior como:

$$\eta_{DL} = N * V * \frac{E_b}{N_0} \cdot \frac{1}{Gp_{384}} * [(1 - \alpha) + i]$$

Sustituyendo valores tenemos:

$$0.70 = 1 * N * \left( \frac{10^{4.5/10}}{3.84e^6} \right) * [(1-0.8) + 0.2]$$

Por lo que el número de usuarios máximo (con un factor de carga del 70%) que soportará el enlace descendente será:

$$N_{DL} = 6 \text{ usuarios}$$

### Estimación de Radio Enlace (Cobertura)

Al igual que en el enlace ascendente se calculará el radio de cobertura obtenido en el enlace descendente a través de la estimación del radio enlace:

- a) Calcular la PIRE

$$PIRE [dBm] = (\text{Potencia de los Nodos B}) + (\text{Ganancia de la antena de los Nodos B}) - (\text{Pérdidas por dispositivo en los Nodos B})$$

$$PIRE [dBm] = 43 \text{ dBm} + 18 \text{ dBi} - 2 \text{ dB} = 59 \text{ dBm}$$

- b) Calcular la Densidad de Ruido en el Receptor de los UE's

$$Densd\_Ruid\_Recept\_UE [dBm/Hz] = (\text{Densidad de Ruido Térmico}) + (\text{Figura de ruido de los UE's})$$

$$Densd\_Ruid\_Recept\_UE [dBm/Hz] = -174 \text{ dBm/Hz} + 8 \text{ dB} = -166 \text{ dBm/Hz}$$

- c) Calcular la Potencia de Ruido en el Receptor de los UE's

$$Pot\_Ruid\_Recept\_UE [dBm] = (Densd\_Ruid\_Recept\_UE) + 10 \log_{10}(W_c)$$

$$Pot\_Ruid\_Recept\_UE [dBm] = -166 + 65.8433 = -100.157 [dBm]$$

- d) Calcular la Sensibilidad de los UE's

$$Sensibilidad\_UE [dBm] = E_b/N_{ODL} - G_p + \text{Margen de interferencia} + Pot\_Ruid\_Recept\_UE$$

$$\text{Sensibilidad UE [dBm]} = 4.5 - 10 \log_{10} (3.84e^6 / 384e^3) + 5.23 - 100.157 = -100.427$$

e) Calcular las Pérdidas Totales por Propagación:

$$\text{Pérd Tot Propag [dBm]} = (\text{PIRE}) - (\text{Sensibilidad UE}) + (\text{Ganancia de la antena de los UE's}) - (\text{Pérdidas por dispositivos en los UE's}) - (\text{Margen de Desvanecimiento Lento}) - (\text{Margen de Desvanecimiento Rápido}) + (\text{Ganancia de "Soft Handover"})$$

$$\text{Pérd Tot Propag [dBm]} = 59 \text{ dBm} + 100.427 \text{ dBm} + 2 \text{ dBi} - 3 \text{ dB} - 7 \text{ dB} - 4 \text{ dB} + 3 \text{ dB} = 150.427 \text{ dBm}$$

f) Calcular el Radio de Cobertura

Haciendo uso de la ecuación (5.14), tenemos que el radio de cobertura de la celda en el enlace descendente es:

$$\text{Radio [Km]} = 10^{[(150.427 - 138.74) / 35.22]} = 2.1 \text{ Km}$$

<b>Radio [Km] <math>_{DL}</math> = 2.1 Km</b>
---

Como podemos observar los datos obtenidos en el enlace descendente soportan los obtenidos mediante el enlace ascendente, ya que 6 usuarios > 5 usuarios y 2.1 Km > 0.85 Km. Por lo tanto y basándonos en el enlace ascendente podemos decir que la capacidad y cobertura de cada célula será:

<b>Capacidad = 5 usuarios</b> <b>Cobertura = 0.85 Km</b>
---

#### 5.5.4 Resultados

Los resultados del desarrollo realizado arrojan unos valores por celda de 5 usuarios con una cobertura de 0.85 Km. Para calcular el área aproximada de la celda, nos basaremos en la siguiente ecuación:

$$S = 2.6 * R^2 \tag{5.23}$$

Por lo que el área de cobertura de cada célula será:

$$S = 2.6 * 0.85^2 = 1.8785 [\text{Km}^2]$$

El próximo paso es verificar que los datos obtenidos de las celdas soporten los usuarios establecidos suponiendo una distribución uniforme. Sabemos que los requerimientos iniciales son 1500 usuarios en un área de 750 Km<sup>2</sup>, por lo que tendremos 2 usuarios/Km<sup>2</sup>; lo cual es totalmente soportado por los resultados obtenidos:

$$\frac{1500 \text{ usuarios}}{750 \text{ Km}^2} \approx \frac{5 \text{ usuarios}}{1.8785 \text{ Km}^2}$$

Cabe señalar que en caso de que los primeros datos obtenidos no satisfagan los requerimientos iniciales, se deberán realizar nuevamente los cálculos de la planificación pero en el sentido inverso, es decir, partiendo de los 2 usuarios / Km<sup>2</sup>.

El número total de celdas que se necesitarán para cubrir los 1500 en el área de 750 Km<sup>2</sup> será:

$$\frac{750 \text{ Km}^2}{1.8785 \text{ Km}^2} = 400 \text{ celdas}$$

Si suponemos una sectorización de 3 celdas por Nodo B, se necesitarán entonces aproximadamente 134 Nodos B. Finalmente se necesita calcular el número de RNC's necesario para controlar los 134 Nodos B, lo cual se podrá realizar de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$\text{numRNCs} = \frac{\text{numBTSS}}{\text{btsRNC} * \text{fillrate2}}$$

donde:

numBTSS: Número de BTSs (Nodos B) en el área que será dimensionada.

btsRNC: Máximo número de BTSs (Nodos B) que pueden conectarse a un RNC.

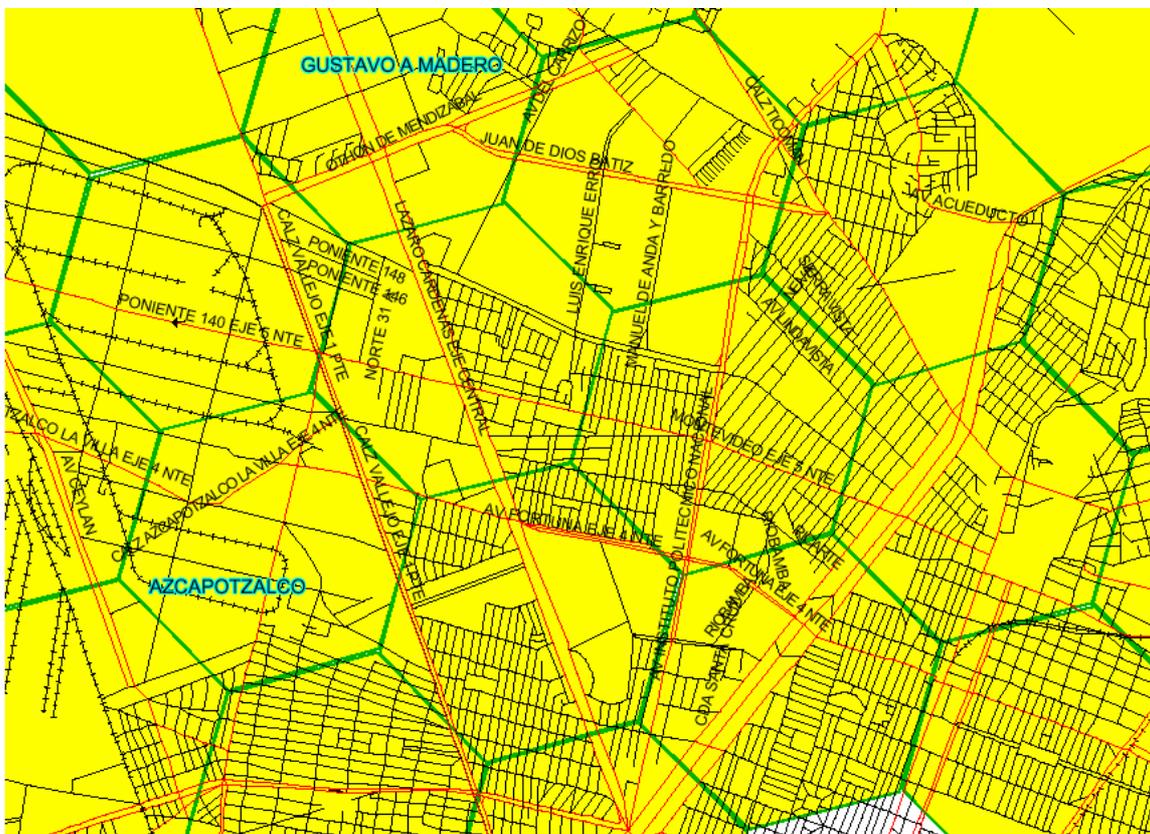
Fillrate2: Es un margen utilizado como respaldo de la capacidad máxima.

Suponiendo un 70% de utilización de los RNCs y 100 Nodos B para ser conectados a una RNC, tenemos:

$$\text{numRNCs} = \frac{134 \text{ Nodos B}}{100 \text{ Nodos B} * 0.70} = 2 \text{ RNCs}$$

Recopilando todos los datos anteriores, tenemos que para cubrir 1500 usuarios usando un servicio de video en tiempo real y distribuidos en un área de 750 Km<sup>2</sup>, se necesitarán:

**N ° Celdas = 400**  
**N ° Nodos B = 134**  
**N ° RNCs = 2**



**Figura 5.5.1** Esquema de distribución de celdas para nuestro caso práctico (1500 usuarios distribuidos uniformemente en un área de 750 Km<sup>2</sup> en el Distrito Federal, México)

## 6. Conclusiones

En el presente trabajo de tesis hemos descrito en forma breve la planificación de una red de radiocomunicaciones UMTS (WCDMA), pasando de la descripción general de los elementos fundamentales de la telefonía celular hasta la migración de las redes TDMA y GSM hacia la tercera generación. La planificación es una etapa muy importante debido a que es el primer paso para llegar a implantar y ofrecer servicios a través de una red, no solamente de UMTS sino para cualquiera (incluso de otras tecnologías).

En éste trabajo se muestran los elementos más importantes a ser considerados en la planificación de la red de acceso del sistema UMTS y la influencia que estos ejercen en la capacidad y la cobertura del sistema. Se puede observar también, que existen diferencias sustanciales entre la planificación de una red de acceso del sistema UMTS y la planificación de otras redes de acceso como las de los sistemas TDMA o GSM, estas diferencias radican principalmente en la forma en que la capacidad y la cobertura del sistema se tratan. En GSM por ejemplo se realiza primero la planificación de la capacidad con base en estudios de mercado y posteriormente se trabaja con la cobertura una vez que la red ya ha sido dimensionada, por otro lado en UMTS la capacidad y la cobertura deben planificarse simultáneamente pues una depende de la otra. A pesar de esto, las estimaciones de los radioenlaces en WCDMA son muy semejantes a las utilizadas en los sistemas TDMA y GSM pero incluyen otros factores, como el margen de degradación de interferencia, el incremento de la potencia de transmisión del nodo B, la ganancia de traspasos suaves y los factores de ortogonalidad (códigos de ortogonalidad que se ocupan en el diseño de redes basadas en CDMA).

Con base en los resultados obtenidos podemos decir que la capacidad tiende a estar limitada por el enlace descendente (de la estación base al móvil) por contarse con mejores técnicas de recepción en la estación base o nodo B y la cobertura en el enlace ascendente (del móvil a la estación base) debido a que la potencia de los móviles tiene un límite máximo general de 125 mW. El análisis realizado estuvo basado en el enlace ascendente relacionando la capacidad y la cobertura mediante los márgenes de interferencia, a tal grado que para mejorar la capacidad en la mayoría de los casos se tuvo que disminuir la cobertura y viceversa; por tal motivo en el diseño del sistema se intenta que estas características estén balanceadas. Cabe mencionar que es de gran importancia, el analizar el enlace descendente (tal y como se realizó en este trabajo) para asegurar que los resultados obtenidos mediante el enlace ascendente no sobrepasen a lo que se pudiera soportar en el enlace descendente.

Una vez diseñado el sistema celular se requerirá incrementar las plataformas (Nodo B, RNCs) y su capacidad para satisfacer la demanda creciente de usuarios, con el fin de reducir los costos de inversión en infraestructura. En el desarrollo del presente trabajo se incluyó un análisis de los parámetros más importantes involucrados en la planificación inicial del sistema y el efecto de estos en la capacidad y cobertura, sin embargo es muy importante hacer un análisis detallado considerando cual es el factor limitante del sistema (la capacidad o la cobertura) o los resultados pueden no ser óptimos o satisfactorios.

Los factores que afectan la cobertura son: la potencia de las estaciones base y los móviles, los desvanecimientos rápido y lento, la  $E_b/N_0$  y la ganancia de traspasos suaves.

- Al aumentar la potencia de las estaciones base al doble (3 dB) únicamente se logra obtener un incremento en capacidad del 2.7 % y en cobertura del 22.44%. Lo mismo sucede al analizar un incremento de 3 dB de “todos los UEs” obteniéndose un incremento del 21.75 % de cobertura. Dado que la potencia no influye directamente en el factor de carga (el cual determina la capacidad) no se obtiene una mejora en la capacidad del sistema al aumentar la potencia. De acuerdo con esto no es recomendable aumentar la potencia en los nodos B, por que la mejora que se obtiene en el sistema no es mucha y el costo de incrementar la potencia implica un gasto muy elevado.
- Referente a los desvanecimientos lentos y rápidos, se concluye que al establecer un mayor margen de desvanecimiento lento o rápido, la capacidad se mantiene constante debido a que estos factores no están alterando el margen de interferencia producido por la cantidad de usuarios, mientras que la cobertura disminuye en un promedio del 6.33% debido a que los desvanecimientos influyen directamente en las pérdidas máximas totales de la señal.
- $E_b/N_0$ : Observamos que un aumento en la relación  $E_b/N_0$  significa una reducción en la capacidad y cobertura.  $E_b/N_0$  es un parámetro que se encuentra relacionado directamente con la potencia de la señal transmitida, por lo que para alcanzar un  $E_b/N_0$  mayor es necesario incrementar la potencia de transmisión para asegurar y cumplir el  $E_b/N_0$  establecido, lo que implica reducir el radio de cobertura debido a la limitante de la potencia de los móviles, así mismo y para mantener un  $E_b/N_0$  mayor se debe reducir la interferencia de la célula lo cual se logra llevando a cabo una reducción directa del número de usuarios. Por lo tanto para obtener mejoras en capacidad y cobertura es necesario establecer requisitos de calidad menores como lo es el  $E_b/N_0$  requerido, sin embargo al reducir el  $E_b/N_0$  se degradaría la información recibida.
- Al aumentar la ganancia de traspasos suaves la capacidad se mantiene constante mientras que la cobertura obtiene una ligera mejoría. El efecto de la ganancia de traspasos suaves en la cobertura ocurre porque las máximas pérdidas de trayecto permitidas en la estimación del radio enlace aumentan su valor cuando ésta ganancia también lo hace, y por consiguiente el radio de la célula también aumenta, esto se debe a que la ganancia de traspasos suaves proporciona una ganancia contra el desvanecimiento lento permitiendo al móvil seleccionar un mejor nodo B, y contra el desvanecimiento rápido, reduciendo el  $E_b/N_0$  requerido.

La tasa de transmisión es un factor que también impacta en la cobertura del sistema puesto que para tasas de transmisión altas la ganancia de procesamiento será menor y también lo será la cobertura.

Para mejorar la capacidad se pueden considerar principalmente los siguientes parámetros: el factor de ortogonalidad, la interferencia intracélula, la interferencia intercélula y el Eb/No.

- Factor de ortogonalidad: En el análisis establecido se observó que al tener una mejora en el factor de ortogonalidad implica un incremento en la capacidad o número de usuarios soportados por la célula en el enlace descendente. Lo anterior se debe a que el factor de ortogonalidad está presente al calcular el factor de carga en el enlace descendente. Por lo tanto, un incremento en el factor de ortogonalidad de 0.4 a 0.9 origina un aumento de aproximadamente del 43 % en el número de usuarios. Si se utilizan códigos completamente ortogonales en las señales originadas desde el nodo B, la interferencia intra célula puede evitarse completamente aumentando de ese modo la capacidad de la célula.
- Respecto a la interferencia intercélula se analizó que el efecto de ésta es inversamente proporcional a la capacidad de una celda; es decir, que si la interferencia intercélula puede ser reducida a la mitad, la capacidad de la celda aumentará al doble. Sin embargo y como se observó, se debe tener cuidado al momento de aumentar la capacidad de la célula reduciendo la interferencia intercélula, ya que el enlace descendente pudiera no soportar dicha capacidad, por lo que habría que adoptar alguna técnica anteriormente descrita para aumentar la capacidad en el enlace descendente. Finalmente el porcentaje de la interferencia intercélula vista ya sea por la estación base o los móviles muy pocas veces podrá variarse, dado que es una interferencia proveniente de otras celdas.

<b>Factor</b>	<b>Incremento o Decremento</b>	<b>Capacidad</b>	<b>Cobertura</b>
Potencia	+ 3 dB (DL)	Aumenta 2.7 %	Aumenta 22.44 %
	+ 3 dB (UL)	(Constante)	Aumenta 21.75 %
Desvanecimientos lento y rápido	- 1 dB	(Constante)	Aumenta 6.33 %
Eb/No	+ 2 dB (3 Km/h)	Disminuye 36 %	Disminuye 11.5 %
	+ 2 dB (120 Km/h)	Disminuye 36.6 %	Disminuye 31 %
Ganancia de Traspasos Suaves	+ 2 dB	(Constante)	Aumenta ≈ 13%-14%
Factor de ortogonalidad	0.4 → 0.9	Aumenta 43 %	(Constante)
Interferencia intercélula	0 % → 100 %	Aumenta 100 %	(Constante)

Existen otras alternativas que pueden contribuir a mejorar la capacidad y cobertura tales como: el incremento del número de portadoras por sector, el arreglo de antenas, los amplificadores especiales, las técnicas de sectorización, etc., los cuales no fueron analizados en este trabajo. En muchos casos es necesario llegar a adquirir nuevos equipos para ser adheridos a las plataformas instaladas y poder soportar la demanda de

crecimiento de usuarios, influyendo de manera muy importante en el costo para la operadora celular.

Quedo fuera del alcance de esta tesis un tema importante posterior a la planificación inicial que es la realización de exploraciones de los sitios donde van a ser implantados los nodos B, dado que en la mayoría de las ocasiones los sitios llegan a ser lugares montañosos, sin accesibilidad o incluso lugares particulares en donde por situaciones legales llega a ser muy difícil la implantación de cualquier equipo y por consiguiente el análisis de planificación debe ser desarrollado una vez más.

Una vez desarrollado el análisis anterior y dado que generalmente lo que se busca es tener la suficiente capacidad en la red celular para poder soportar el aumento de usuarios, podemos decir entonces que los principales factores que se tienen que manejar para obtener mejores resultados son el reducir el Eb/No requerido, aumentar al máximo posible el factor de ortogonalidad y disminuir la interferencia intercélula; si bien puede ser bastante complejo lograr obtener estos valores ideales.

Después que se ha hecho la planificación de la capacidad y cobertura y la red se encuentra en operación se deben realizar periódicamente mediciones de calidad, de capacidad y cobertura, con el fin de hacer nuevamente este análisis, a lo cual se le llama “optimización” cuyo objetivo es seguir manteniendo y asegurando un servicio aceptable.

Como parte final de este trabajo podemos decir que las operadoras celulares de América Latina, las cuales actualmente utilizan en sus sistemas tecnologías de las generaciones 2 (TDMA, GSM) y 2.5 (GPRS, EDGE), deberán analizar perfectamente la conveniencia de implantar y migrar/evolucionar hacia la Tercera Generación (UMTS), en primera por los altos costos que conlleva realizar estas implantaciones para garantizar el servicio a una cantidad de usuarios, y en segunda porque la mayoría de los usuarios de América Latina aún no están lo suficientemente familiarizados con el uso de los servicios de datos por telefonía celular. En nuestro caso práctico observamos que simplemente para ofrecer un servicio “teórico” a 384 Kbps una celda estará soportando aproximadamente a tres usuarios simultáneos, lo cual desde el punto de vista de negocio será difícilmente viable al requerir la implantación de equipos muy costosos para una baja cantidad de usuarios.

Una vez más la implantación de la tecnología UMTS en América Latina y en especial en México debe analizarse de acuerdo a la demanda en el mercado que se tenga de los servicios que puede ofrecer una red de este tipo y a la competitividad que se quiera realizar.

## ANEXO A Programa realizado en MATLAB

### planificacion\_umts

```

%Programa Principal

clc;
close all;
clear;
W=3.84e6; %Tasa de Chips
interf_UL=0.55; %Interferencia intercélula vista por la BS
interf_DL=0.55; %Interferencia intercélula vista por la
Terminal
Densd_Ruid_Term=-174; %Densidad de Ruido Térmico en dBm/Hz para 20
°C
Fig_Ruido_BS=5; %Figura de Ruido del Nodo B en dB
Fig_Ruido_UE=8; %Figura de Ruido del UE en dB
alfa=0.6; %Factor de ortogonalidad para el enlace
descendente
Margen_Slow_Fading=7; %Margen para desvanecimientos suaves en dB
para una probabilidad de cobertura de 95%
Ganancia_SHO=3; %Ganancia de Traspasos Suaves (incluida
Macrodiversidad) en dB

%Tipo de velocidad que lleva el usuario
fprintf('Velocidad (km/h) del usuario\n');
fprintf('1.- 3 km/h\n');
fprintf('2.- 120 km/h\n');
velc=input('\nVelocidad?: ');

%Tipo de servicio proporcionado o requerido
fprintf('\n\nTipo de servicio\n');
fprintf('1.- 12.2 kbps (voz)\n');
fprintf('2.- 64 kbps\n');
fprintf('3.- 144 kbps\n');
fprintf('4.- 384 kbps\n');
serv=input('\nTipo de servicio (tasa de bits)?: ');

Pot_Tx_UE=23; %Potencia de la terminal en dBm
Gan_Ant_UE=2; %Ganancia de la antena de la terminal en dBi
Perd_Apart_UE=3; %Pérdidas internas de la terminal

Pot_Tx_BS=40; %Potencia de la Estación Base (Nodo B) en
dBm
Gan_Ant_BS=18; %Ganancia de la antena de la Estación Base
(Nodo B) en dBi
Perd_Disp_BS=2; %Pérdidas internas por dispositivos de la
Estación Base (Nodo B) en dB

% Parametros de acuerdo al tipo de velocidad y servicio

```

---

```

if serv==1                                %           Para voz (12.2 Kbps)
    V=0.67;                                %Factor de actividad
    Gp=10*log10(W/12.2e3);                 %Ganancia de Procesamiento en dB
    if velc==1                              %           3   Km/h
        ULEb_No=4;
        DLEb_No=6.5;
        Margen_Fast_Fading=4;
    elseif velc==2                          %           120  Km/h
        ULEb_No=5;
        DLEb_No=6.5;
        Margen_Fast_Fading=0;
    end
elseif serv==2                              %           Para 64 Kbps
    V=1;                                    %Factor de actividad (datos)
    Gp=10*log10(W/64e3);                   %Ganancia de Procesamiento en dB
    if velc==1                              %           3   Km/h
        ULEb_No=2;
        DLEb_No=5.5;
        Margen_Fast_Fading=4;
    elseif velc==2                          %           120  Km/h
        ULEb_No=3.3;
        DLEb_No=5;
        Margen_Fast_Fading=0;
    end
elseif serv==3                              %           Para 144 Kbps
    V=1;                                    %Factor de actividad (datos)
    Gp=10*log10(W/144e3);                  %Ganancia de Procesamiento en dB
    if velc==1                              %           3   Km/h
        ULEb_No=1.5;
        DLEb_No=5;
        Margen_Fast_Fading=4;
    elseif velc==2                          %           120  Km/h
        ULEb_No=3;
        DLEb_No=4.5;
        Margen_Fast_Fading=0;
    end
elseif serv==4                              %           Para 384 Kbps
    V=1;                                    %Factor de actividad (datos)
    Gp=10*log10(W/384e3);                  %Ganancia de procesamiento
    if velc==1                              %           3   Km/h
        ULEb_No=1;
        DLEb_No=4.5;
        Margen_Fast_Fading=4;
    elseif velc==2                          %           120  Km/h
        ULEb_No=2;
        DLEb_No=4;
        Margen_Fast_Fading=0;
    end
end
end
clc;

%Parámetro a variar
fprintf('Parámetros a variar\n');
fprintf('1.- Potencias de Transmisión\n');
fprintf('2.- Margen para Desvanecimiento Rápido (Fast fading)\n');
fprintf('3.- Margen para Desvanecimiento Lento (Slow fading)\n');
fprintf('4.- Eb/No requeridos para Downlink y Uplink\n');

```

---

---

```

fprintf('5.- Ganancia de Traspasos Suaves (Soft Handovers)\n');
fprintf('6.- Interferencia Intercélula\n');
fprintf('7.- Factor de Ortogonalidad para el enlace Descendente\n');
Parametro=input('\nParámetro que deseas para el efecto en capacidad y
cobertura: ');

if Parametro==1                                %Análisis de
acuerdo a la variación de las potencias
    clc;
    PotTxUE=input('\nPotencia del UE (mW): \n');
    PotTxBS=input('\nPotencia del Nodo B (mW): \n');
    Pot_Tx_BS=10*log10(PotTxBS);                %Potencia de Tx
del Nodo B en dBm
    Pot_Tx_UE=10*log10(PotTxUE);                %Potencia de Tx
del UE en dBm

Capacidad_Cobertura= analisis_cap_cob(W,Pot_Tx_UE,Pot_Tx_BS,ULEb_No,DLEb_No,
Gp,Gan_Ant_UE,Gan_Ant_BS,Perd_Apart_UE,Perd_Disp_BS,Margen_Fast_Fading,
Margen_Slow_Fading,Fig_Ruido_UE,Fig_Ruido_BS,interf_UL,interf_DL,alfa,Gan
ancia_SHO,V,Densd_Ruid_Term,Parametro); %Función que Determina la Gráfica
para Downlink y Uplink

elseif Parametro==2                            %Análisis de
acuerdo a la variación del Desvanecimiento Rápido
    clc;
    if velc==2                                  %A velocidades
mayores el Desvanecimiento Rápido casi no es perceptible o medible
        fprintf('\nLos desvanecimientos rapidos para velocidades mayores a
80 km/h \n');
        fprintf('\n                practicamente se reducen a 0 dB
\n');

        Capacidad_Cobertura= analisis_cap_cob(W,Pot_Tx_UE,Pot_Tx_BS,ULEb_No,DLE
b_No,Gp,Gan_Ant_UE,Gan_Ant_BS,Perd_Apart_UE,Perd_Disp_BS,Margen_Fast_Fadi
ng,Margen_Slow_Fading,Fig_Ruido_UE,Fig_Ruido_BS,interf_UL,interf_DL,alfa,
Ganancia_SHO,V,Densd_Ruid_Term,Parametro); %Función que Determina la
Gráfica para Downlink y Uplink
    else
        Margen_Fast_Fading=input('\nMargen para Desvanecimientos Rapidos
[dB]: \n');

        Capacidad_Cobertura= analisis_cap_cob(W,Pot_Tx_UE,Pot_Tx_BS,ULEb_No,DLE
b_No,Gp,Gan_Ant_UE,Gan_Ant_BS,Perd_Apart_UE,Perd_Disp_BS,Margen_Fast_Fadi
ng,Margen_Slow_Fading,Fig_Ruido_UE,Fig_Ruido_BS,interf_UL,interf_DL,alfa,
Ganancia_SHO,V,Densd_Ruid_Term,Parametro); %Función que Determina la
Gráfica para Downlink y Uplink
    end;

elseif Parametro==3                            %Análisis de
acuerdo a la variación del Desvanecimiento Lento
    clc;
    Margen_Slow_Fading=input('\nMargen para Desvanecimientos Lentos [dB]:
\n');

Capacidad_Cobertura= analisis_cap_cob(W,Pot_Tx_UE,Pot_Tx_BS,ULEb_No,DLEb_No,
Gp,Gan_Ant_UE,Gan_Ant_BS,Perd_Apart_UE,Perd_Disp_BS,Margen_Fast_Fading,
Margen_Slow_Fading,Fig_Ruido_UE,Fig_Ruido_BS,interf_UL,interf_DL,alfa,Gan

```

---

---

```

ancia_SHO,V,Densd_Ruid_Term,Parametro); %Función que Determina la Gráfica
para Downlink y Uplink

elseif Parametro==4 %Análisis de
acuerdo a las Eb/No requeridas
    clc;
    ULEb_No=input('\nEb/No necesario para el Enlace Ascendente (dB):
\n');
    DLEb_No=input('\nEb/No necesario para el Enlace Descendente (dB):
\n');

Capacidad_Cobertura= analisis_cap_cob(W,Pot_Tx_UE,Pot_Tx_BS,ULEb_No,DLEb_No,
Gp,Gan_Ant_UE,Gan_Ant_BS,Perd_Apart_UE,Perd_Disp_BS,Margen_Fast_Fading,
Margen_Slow_Fading,Fig_Ruido_UE,Fig_Ruido_BS,interf_UL,interf_DL,alfa,Gan
ancia_SHO,V,Densd_Ruid_Term,Parametro); %Función que Determina la Gráfica
para Downlink y Uplink

elseif Parametro==5 %Análisis de
acuerdo a la Ganancia por Traspasos Suaves
    clc;
    Ganancia_SHO=input('\nGanancia por Traspasos Suaves (incluida
Macrodiversidad) [dB]: \n');

Capacidad_Cobertura= analisis_cap_cob(W,Pot_Tx_UE,Pot_Tx_BS,ULEb_No,DLEb_No,
Gp,Gan_Ant_UE,Gan_Ant_BS,Perd_Apart_UE,Perd_Disp_BS,Margen_Fast_Fading,
Margen_Slow_Fading,Fig_Ruido_UE,Fig_Ruido_BS,interf_UL,interf_DL,alfa,Gan
ancia_SHO,V,Densd_Ruid_Term,Parametro); %Función que Determina la Gráfica
para Downlink y Uplink

elseif Parametro==6 %Análisis de
acuerdo a la Interferencia Intercélula
    clc;
    interfUL=input('\nPorcentaje de la Interferencia Intercélula vista por
la Estación Base: \n');
    interfDL=input('\nPorcentaje de la Interferencia Intercélula vista por
la Terminal: \n');
    interf_UL=interfUL/100;
    interf_DL=interfDL/100;

Capacidad_Cobertura= analisis_cap_cob(W,Pot_Tx_UE,Pot_Tx_BS,ULEb_No,DLEb_No,
Gp,Gan_Ant_UE,Gan_Ant_BS,Perd_Apart_UE,Perd_Disp_BS,Margen_Fast_Fading,
Margen_Slow_Fading,Fig_Ruido_UE,Fig_Ruido_BS,interf_UL,interf_DL,alfa,Gan
ancia_SHO,V,Densd_Ruid_Term,Parametro); %Función que Determina la Gráfica
para Downlink y Uplink

elseif Parametro==7 %Análisis de
acuerdo al Factor de Ortogonalidad
    clc;
    alfa_porcentaje=input('\nPorcentaje del Factor de Ortogonalidad para
el Enlace Descendente: \n');
    alfa=alfa_porcentaje/100;

Capacidad_Cobertura= analisis_cap_cob(W,Pot_Tx_UE,Pot_Tx_BS,ULEb_No,DLEb_No,
Gp,Gan_Ant_UE,Gan_Ant_BS,Perd_Apart_UE,Perd_Disp_BS,Margen_Fast_Fading,
Margen_Slow_Fading,Fig_Ruido_UE,Fig_Ruido_BS,interf_UL,interf_DL,alfa,Gan
ancia_SHO,V,Densd_Ruid_Term,Parametro); %Función que Determina la Gráfica
para Downlink y Uplink

```

---

---

end;

## analisys\_cap\_cob

```
function
y=analisys_cap_cob(W,Pot_Tx_UE,Pot_Tx_BS,ULEb_No,DLEb_No,Gp,Gan_Ant_UE,Ga
n_Ant_BS,Perd_Apart_UE,Perd_Disp_BS,Margen_Fast_Fading,Margen_Slow_Fading
, Fig_Ruido_UE, Fig_Ruido_BS, interf_UL, interf_DL, alfa, Ganancia_SHO, V, Densd_
Ruid_Term, Parametro)

%Para el Enlace Ascendente (Uplink)
PIRE_UE=Pot_Tx_UE+Gan_Ant_UE-Perd_Apart_UE; %PIRE del
UE en dBm
Densd_Ruid_Recept_BS=Densd_Ruid_Term+Fig_Ruido_BS; %Densidad
de Ruido en el receptor del Nodo B en dBm/Hz
Pot_Ruid_Recept_BS=Densd_Ruid_Recept_BS+10*log10(W); %Potencia
de ruido en el receptor del Nodo B en dBm
i=1;
for n_ul=0.01:0.01:0.99
%Factor de carga variable del 0.1% al 99.9%
    ULN(i)=(n_ul*(1+((10^(Gp/10))/((10^(ULEb_No/10))*V))))/(1+interf_UL);
%Número de usuarios
    ULElev_Ruido(i)=-10*log10(1-n_ul);
    ULMargen_Interf(i)=ULElev_Ruido(i);
%Margen de Interferencia
    Sensibilidad_BS(i)=ULEb_No-Gp+ULMargen_Interf(i)+Pot_Ruid_Recept_BS;
    ULPerdidas_Propagacion(i)=PIRE_UE-Sensibilidad_BS(i)+Gan_Ant_BS-
Perd_Disp_BS-Margen_Fast_Fading-Margen_Slow_Fading+Ganancia_SHO; %Máximas
perdidas de propagación en UL (dB)
    ULRango_Celula(i)=10^((ULPerdidas_Propagacion(i)-137.37)/35.22);
%Cobertura [Km]
    i=i+1;
end;

%Para el Enlace Descendente (Downlink)
PIRE_BS=Pot_Tx_BS+Gan_Ant_BS-Perd_Disp_BS; %PIRE del
Nodo B en dBm
Densd_Ruid_Recept_UE=Densd_Ruid_Term+Fig_Ruido_UE; %Densidad
de Ruido en el receptor del UE en dBm/Hz
Pot_Ruid_Recept_UE=Densd_Ruid_Recept_UE+10*log10(W); %Potencia
de ruido en el receptor del UE en dBm
i=1;
for n_dl=0.01:0.01:0.99
%Factor de carga variable del 0.1% al 99.9%
    DLN(i)=(n_dl*10^(Gp/10))/(10^(DLEb_No/10)*V*((1-alfa)+interf_DL));
%Número de usuarios
    DLElev_Ruido(i)=-10*log10(1-n_dl);
    DLMargen_Interf(i)=DLElev_Ruido(i);
%Margen de Interferencias
    Sensibilidad_UE(i)=DLEb_No-Gp+DLMargen_Interf(i)+Pot_Ruid_Recept_UE;
```

---

```

    DLPerdidas_Propagacion(i)=PIRE_BS-Sensibilidad_UE(i)+Gan_Ant_UE-
    Perd_Apart_UE-Margen_Fast_Fading-Margen_Slow_Fading+Ganancia_SHO;
    %Máximas pérdidas de propagación en DL (dB)
    DLRango_Celula(i)=10^((DLPerdidas_Propagacion(i)-138.74)/35.22);
    %Cobertura [Km]
    i=i+1;
end;

if Parametro==1
%Gráfica de acuerdo a la variación de las potencias
    figure(1);
    hold on;
    plot(ULN,ULRango_Celula,'g')
    plot(DLN,DLRango_Celula,'r')
    legend('Uplink','Downlink');
    xlabel('Numero de Usuarios (Capacidad)');
    ylabel('Cobertura de la célula [Km]');
    title('Potencias');
    grid on;
    text(ULN(50),ULRango_Celula(50),{ULN(50),ULRango_Celula(50)});
    %Número de usuarios y Cobertura para un Margén de Interferencia de 3 dB
    zoom
    hold off;

    y(1)=ULN(50);
    y(2)=ULRango_Celula(50);

elseif Parametro==2
%Gráfica de acuerdo a la variación del Desvanecimiento Rápido
    figure(1);
    hold on;
    plot(ULN,ULRango_Celula,'g')
    plot(DLN,DLRango_Celula,'r')
    legend('Uplink','Downlink');
    xlabel('Numero de Usuarios (Capacidad)');
    ylabel('Cobertura de la célula [Km]');
    title('Margen de Desvanecimiento Rápido');
    grid on;
    text(ULN(50),ULRango_Celula(50),{ULN(50),ULRango_Celula(50)});
    %Número de usuarios y Cobertura para un Margén de Interferencia de 3 dB
    zoom
    hold off;

    y(1)=ULN(50);
    y(2)=ULRango_Celula(50);

elseif Parametro==3
%Gráfica de acuerdo a la variación del Desvanecimiento Lento
    figure(1);
    hold on;
    plot(ULN,ULRango_Celula,'g')
    plot(DLN,DLRango_Celula,'r')
    legend('Uplink','Downlink');
    xlabel('Numero de Usuarios (Capacidad)');
    ylabel('Cobertura de la célula [Km]');
    title('Margen de Desvanecimiento Lento');
    grid on;

```

---

---

```
    text(ULN(50),ULRango_Celula(50),{ULN(50),ULRango_Celula(50)});
%Número de usuarios y Cobertura para un Margén de Interferencia de 3 dB
    zoom
    hold off;

    y(1)=ULN(50);
    y(2)=ULRango_Celula(50);

elseif Parametro==4
%Gráfica de acuerdo a la Eb/No requerida
    figure(1);
    hold on;
    plot(ULN,ULRango_Celula,'g')
    plot(DLN,DLRango_Celula,'r')
    legend('Uplink','Downlink');
    xlabel('Numero de Usuarios (Capacidad)');
    ylabel('Cobertura de la célula [Km]');
    title('Eb/No requeridos');
    grid on;
    text(ULN(50),ULRango_Celula(50),{ULN(50),ULRango_Celula(50)});
%Número de usuarios y Cobertura para un Margén de Interferencia de 3 dB
    zoom
    hold off;

    y(1)=ULN(50);
    y(2)=ULRango_Celula(50);

elseif Parametro==5
%Gráfica de acuerdo a la Ganancia por Traspasos Suaves
    figure(1);
    hold on;
    plot(ULN,ULRango_Celula,'g')
    plot(DLN,DLRango_Celula,'r')
    legend('Uplink','Downlink');
    xlabel('Numero de Usuarios (Capacidad)');
    ylabel('Cobertura de la célula [Km]');
    title('Ganancia por Traspasos Suaves (incluida Macrodiversidad)');
    grid on;
    text(ULN(50),ULRango_Celula(50),{ULN(50),ULRango_Celula(50)});
%Número de usuarios y Cobertura para un Margén de Interferencia de 3 dB
    zoom
    hold off;

    y(1)=ULN(50);
    y(2)=ULRango_Celula(50);

elseif Parametro==6
%Gráfica de acuerdo a la Interferencia Intercélula
    figure(1);
    hold on;
    plot(ULN,ULRango_Celula,'g')
    plot(DLN,DLRango_Celula,'r')
    legend('Uplink','Downlink');
    xlabel('Numero de Usuarios (Capacidad)');
    ylabel('Cobertura de la célula [Km]');
    title('Interferencia Intercélula');
    grid on;
```

---

---

```
    text(ULN(50),ULRango_Celula(50),{ULN(50),ULRango_Celula(50)});
%Número de usuarios y Cobertura para un Margén de Interferencia de 3 dB
    zoom
    hold off;

    y(1)=ULN(50);
    y(2)=ULRango_Celula(50);

elseif Parametro==7
%Gráfica de acuerdo al Factor de Ortogonalidad
    figure(1);
    hold on;
    plot(ULN,ULRango_Celula,'g')
    plot(DLN,DLRango_Celula,'r')
    legend('Uplink','Downlink');
    xlabel('Numero de Usuarios (Capacidad)');
    ylabel('Cobertura de la célula [Km]');
    title('Factor de Ortogonalidad');
    grid on;
    text(ULN(50),ULRango_Celula(50),{ULN(50),ULRango_Celula(50)});
%Número de usuarios y Cobertura para un Margén de Interferencia de 3 dB
    zoom
    hold off;

    y(1)=ULN(50);
    y(2)=ULRango_Celula(50);

end;
```

## Glosario de Términos

- ACELP** Algebraic Code Excited Linear Prediction
- AMPS** Sistema de Telefonía Móvil Avanzado (Advanced Mobile Phone System)
- AMR** Codificador Adaptativo de Tasa Múltiple (Adaptative Multi-Rate)
- AN** Red de Acceso (Access Network)
- ANSI** Instituto Americano de Estándares Nacionales (American National Standards Institute)
- API** Interfaz de Programación de Aplicaciones (Application Programming Interface)
- ASK** Desplazamiento por División de Amplitud (Amplitude Shift Keying)
- ATM** Modo de Transferencia Asíncrono (Asynchronous Transfer Mode)
- AuC** Centro de Autenticación (Authentication Center)
- BCCH** Canal de control de difusión (Broadcast Control Channel)
- BCH** Canal de Difusión (Broadcast Channel)
- BER** Tasa de Bit Erróneo (Bit Error Rate)
- BFSK** Desplazamiento por División de Frecuencia Binario (Binary Frequency Shift Keying)
- BG** Pasarela Frontera (Border Gateway)
- BLER** Tasa de Error de Bloques (Block Error Rate)
- BMC** Protocolo de Control de Difusión (Broadcast / Multicast Control Protocol)
- BoD** Ancho de Banda por Demanda (Bandwidth on Demand)
- BPSK** Desplazamiento por División de Fase Binario (Binary Phase Shift Keying)
- BSC** Estación Base Controladora (Base Station Controller)
- BSS** Subsistema de Estación Base (Base Subsystem Station)
- BTS** Estación Base Transceptora (Base Transceiver Station)
- C/N** Relación Portadora a Ruido (Carrier to Noise)
- CBS** Servicio de difusión de la célula (Cell Broadcast Service)
- CC** Control de Conexiones o de llamadas (Connection Control)
- CCCH** Canal común de control (Common control channel)
- CDG** Grupo de Desarrollo CDMA (CDMA Development Group)
- CDMA** Acceso Múltiple por División de Código (Code Division Multiple Access)
- CELP** Code-Excited Linear Prediction
- CEPT** Conferencia Europea de Correos y Telecomunicaciones (Conference of European Post and Telecommunications)
- CIR** Relación Portadora – Interferencia (Carrier to Interference Ratio)
- CM** Administración de Comunicaciones (Communication Management)
- CN** Red Central (Core Network)
- CPCH** Canal de paquetes común Common Packet Channel
- CRNC** RNC Controladora (Controlling RNC)
- CS** Conmutación por Circuitos (Circuit Switched)
- CTIA** Célular TIA (Cellular TIA)
- D-AMPS** Digital AMPS
- DCCH** Canal de control dedicado (Dedicated control channel)
- DCH** Canal Dedicado (Dedicated Channel)

- DECT** Telefonía Digital Inalámbrica Mejorada (Digital Enhanced Cordless Telephony)
- DL** Enlace Descendente (DownLink)
- DPCCH** Canal de Control Físico Dedicado (Dedicated Physical Control Channel)
- DPCH** Canal Físico Descendente Dedicado (Downlink Dedicated Physical Channel)
- DPDCH** Canal de Datos Físico Dedicado (Dedicated Physical Data Channel)
- DPSK** PSK Diferencial (Differential Phase Shift Keying)
- DRNC** Drift RNC
- DS CDMA** CDMA de Secuencia Directa (Direct Sequence CDMA)
- DSCH** Canal Compartido Descendente (Downlink Shared Channel)
- Eb/No** Energía de Bit por Densidad de Ruido Espectral
- EDGE** Datos Mejorados para la Evolución de GSM (Enhanced Data for GSM Evolution)
- EIA** Asociación Norteamericana de Industrias de Electrónica (Electronic Industry Association)
- EIR** Registro de Identidad de Usuario (Equipment Identity Register)
- ETSI** Instituto Europeo de Estándares para Telecomunicaciones (European Telecommunications Standards Institute)
- FACH** Canal de Acceso Directo (Forward Access Channel)
- FDD** Dúplex por División de Frecuencia (Frequency Division Duplex)
- FDMA** Acceso Múltiple por División de Frecuencia (Frequency Division Multiple Access)
- FH** Salto de Frecuencia (Frequency Hopping)
- FM** Frecuencia Modulada
- FOMA** Libertad de Acceso Móvil Multimedia (Freedom of Mobile Multimedia Access)
- FSK** Desplazamiento por División de Frecuencia (Frequency Shift Keying)
- GERAN** Red de Acceso de Radio GSM/EDGE (GSM/EDGE Radio Access Network)
- GGSN** Nodo Soporte GPRS de Pasarela (Gateway GPRS Support Node)
- GMSC** Pasarela MSC (Gateway MSC)
- GMSK** Modulación por desplazamiento mínimo con filtro gaussiano (Gaussian Minimum Shift Keying)
- Gp** Ganancia de Proceso (Processing Gain)
- GPRS** Servicio General de Paquetes vía Radio (General Packet Radio Service)
- GPS** Sistema de Posicionamiento Global (Global Positioning System)
- GSM** Sistema Global de Comunicaciones Móviles (Global System for Mobile)
- GSM EFR** Tasa Completa Mejorada de GSM (GSM Enhanced Full Rate)
- HLR** Registro de localización de origen (Home Location Register)
- HN** Red Base (Home Network)
- HSCSD** Datos a Alta Velocidad por Conmutación de Circuitos (High Speed Circuit Switched Data)
- IMEI** Identificación Internacional del Equipo Móvil (International Mobile Equipment Identity)
- IMSI** Identificación Internacional de Subscriptor Móvil (International Mobile Subscriber Identity)
- IMT-2000** Telecomunicaciones Móviles Internacionales 2000 (International Mobile Telecommunications – 2000)
- IP** Protocolo de Internet (Internet Protocol)
- IS-136** Estándar Interino para NADC con Canales de Control Digital (Interim Standard for NADC with Digital Control Channels)
- IS-95** Estándar Interino para Acceso Múltiple por División de Código Americano (Interim

Standard for US Code Division Multiple Access)  
**ISDN** Red Digital de Servicios Integrados (Integrated Services Digital Network)  
**ITU** Unión Internacional de Telecomunicaciones (International Telecommunications Union)  
**IWF** Funciones de Interoperabilidad (Interworking Functions)  
**LOS** Línea de Vista (Line of Sight)  
**LPF** Filtro Paso Bajas (Low Pass Filter )  
**MAC** Control de Acceso al Medio (Medium Access Control)  
**ME** Equipo Móvil (Mobile Equipment)  
**MM** Administración de Movilidad (Mobility Management).  
**MMS** Servicio de Mensajes Multimedia (Multimedia Messaging Service)  
**MPSK** PSK M-aria (M-ary Phase Shift Keying)  
**MRC** Combinación de Relación Máxima (Maximal Ratio Combining)  
**MS** Estación Móvil (Mobile Station)  
**MSC** Centro de Conmutación Móvil (Mobile Switching Center)  
**MSISDN** Número ISDN Internacional de Estación Móvil (Mobile Station ISDN Number)  
**MSK** Modulación por Desplazamiento Mínimo (Minimum Shift Keying)  
**MSRN** Número de Seguimiento de Subscriptor Móvil (Mobile Subscriber Roaming Number)  
**MSS** Servicio Satelital Móvil (Mobile Satellite Service)  
**MT** Terminal Móvil (Mobile Termination)  
**MTSO** Oficina Telefónica Móvil de Conmutación (Mobile Telephone Switching Office)  
**NADC** Sistema Celular Digital Norteamericano (North American Digital Cellular)  
**NBAP** Protocolo de Aplicación del Nodo B (Node B Application Protocol)  
**N-LOS** Sin Línea de Vista (Non Line of Sight)  
**NMT** Telefonía móvil de los países nórdicos (Nordic Mobile Telephone)  
**NRZ** No Retorno a Cero (Non Return to Zero)  
**NSS** Subsistema de Red y Conmutación (Network and Switching Subsystem)  
**NT** Terminal de Red (Network Termination)  
**O&M** Operación y mantenimiento (Operation and Maintenance)  
**OOK** Conmutador encendido-apagado (On-Off Keying)  
**OQPSK** Offset QPSK  
**OSS** Subsistema de Operación y Soporte (Operation and Support Subsystem)  
**OVSF** Factor de Esparcimiento Ortogonal Variable (Orthogonal Variable Spreading Factor)  
**PCCH** Canal de control de Paging (Paging Control Channel)  
**PCH** Canal de Paging (Paging Channel)  
**PCM** Modulación por Codificación de Pulso (Pulse Code Modulation)  
**PCS** Sistema de Comunicaciones Personales (Personal Communications System)  
**PCU** Unidad de Control de Paquetes (Packet Unit Control)  
**PDC** Comunicaciones Digitales Personales (Personal Digital Communications)  
**PDCH** Canal de Paquetes de Datos (Packet Data Chanel)  
**PDCP** Protocolo de Control de Información de Paquetes (Packet Data Control Protocol)  
**PDH** Jerarquía digital pleosiocrona (Plesiochronous Digital Hierarchy)  
**PDN** Red de Datos Pública (Public Data Network)  
**PDP** Protocolo de Paquetes de Datos (Packet Data Protocol)  
**PIN** Número de Identificación Personal (Personal Identity Number)  
**PIRE** Potencia Isotrópica Radiada Equivalente

- PLMN** Red Móvil Terrestre Pública (Public Land Mobile Network)
- PLP** Potencia Local Recibida
- PS** Conmutación por Paquetes (Packet Switched)
- PSK** Desplazamiento por Modulación de Fase (Phase Shift Keying)
- PSTN** Red Pública Telefónica Conmutada (Public Switched Telephone Network)
- QAM** Modulación de Amplitud por Cuadratura (Quadrature Amplitude Modulation)
- QoS** Calidad de Servicio (Quality of Service)
- QPSK** Modulación digital en fase de cuadratura (Quadrature Phase Shift Keying)
- RAB** Portadora de Acceso de Radio (Radio Access Bearer)
- RACH** Canal de Acceso Aleatorio (Random Access Channel)
- RANAP** Protocolo de Aplicación de la Red de Acceso de Radio (Radio Access Network Application Protocol)
- RF** Radiofrecuencia
- RLB** Estimación de Radio Enlace (Radio Link Control)
- RLC** Control de Enlace de Radio (Radio Link Control)
- RNC** Controlador de Red de Radio (Radio Network Controller)
- RNS** Subsistema de Red de Radio (Radio Network Subsystem)
- RRC** Control de Recursos de Radio (Radio Resource Control)
- RRM** Administración de los Recursos de Radio (Radio Resource Management)
- RSS** Subsistema de Radio (Radio Subsystem)
- RT** Terminal de Radio (Radio Termination)
- RTT** Tecnología de Transmisión de Radio (Radio Transmission Technology)
- SAP** Puntos de Acceso al Servicio (Service Access Point)
- SCF** Función de Control de Servicios (Service Control Function)
- SDH** Jerarquía digital síncrona (Synchronous Digital Hierarchy)
- SF** Factor de Esparcimiento (Spreading Factor)
- SGSN** Nodo Soporte Servidor de GPRS (Serving GPRS Support Node)
- SHCCH** Canal compartido de control de canal (Shared Channel Control Channel)
- SID** Descriptor de Silencio (Silence Descriptor)
- SIM** Módulo de Identificación del Subscriptor (Subscriber Identity Module)
- SIR** Relación Señal a Interferencia (Signal to Interference Ratio)
- SM** Administración de las Sesiones (Session Management)
- SMS** Servicio de Mensajes Cortos (Short Message Services)
- SMSC** Centro del Sistema de Mensajes Cortos (Short Message System Center)
- SN** Red Servidora (Serving Network)
- SNR** Relación Señal-Ruido (Signal to Noise Ratio)
- SRNC** RNC Servidora (Serving RNC)
- SS** Espectro Disperso (Spread Spectrum)
- SS7** Sistema de Señalización 7 (Signaling System 7)
- STM** Modo de Transferencia Síncrono (Synchronous Transfer Mode)
- STP** Puntos de Señalización de Transferencia (Signaling Transfer Points)
- TA** Adaptación de Terminal (Terminal Adaptation)
- TACS** Sistema de Comunicaciones de Acceso Total (Total Access Communications System)
- TDD** Dúplex por División de Tiempo (Time Division Duplex)
- TDMA** Acceso Múltiple por División de Tiempo (Time Division Multiple Access)
- TE** Equipo Terminal o Terminal de Usuario (Equipment Terminal)

**TFCI** Indicador de Combinación de Formatos de Transporte  
**TFCS** formato de combinación de transporte (Transport Format Combining Set).  
**TIA** Asociación Norteamericana de Industrias de Telecomunicaciones (Telecommunications Industry Association)  
**TMSI** Número de Identidad de Subscriptor Móvil Temporal (Temporary Mobile Subscriber Identity Number)  
**TN** Red de Tránsito (Transit Network)  
**TPC** Control de Potencia de Transmisión (Transmission Power Control)  
**TRX** Transmisor-Receptor (Transmitter-Receiver)  
**TTP** Punto de terminación de tráfico (Traffic Termination Point)  
**UE** Equipo de Usuario (User Equipment)  
**UICC** Tarjeta Universal de Circuitos Integrados (Universal Integrated Circuit Card)  
**UL** Enlace Ascendente (UpLink)  
**UMTS** Sistema Universal de Telecomunicaciones Móviles (Universal Mobile Telecommunications System)  
**USIM** Módulo de Identidad de Servicios de Usuario (User Services Identity Module)  
**US-TDMA** TDMA Estadounidense (United States TDMA)  
**UTRA** Acceso de Radio Terrestre Universal (Universal Terrestrial Radio Access)  
**UTRAN** Red de Acceso Terrestre de UMTS (UMTS Terrestrial Radio Access Network)  
**UWC** Comunicaciones Inalámbricas Universales (Universal Wireless Communications)  
**VAD** Detector de Actividad de Voz (Voice Activity Detector)  
**VCO** Oscilador Controlado por Voltaje  
**VHE** Entorno Propio Virtual (Virtual Home Environment)  
**VLR** Registro de Localización de Visitante (Visitor Location Register)  
**WAP** Protocolo de Aplicaciones Inalámbricas (Wireless Application Protocol)  
**WCDMA** CDMA de banda ancha (Wideband CDMA)  
**WWW** World Wide Web  
**1G, 2G y 3G:** Primera, Segunda y Tercera Generación  
**3GPP** Proyecto Conjunto para la Tercera Generación de Móviles (Third Generation Partnership Project)

## Referencias Bibliográficas

1. Sklar, Bernard. **DIGITAL COMMUNICATIONS. Fundamentals and Applications.** Editorial Prentice Hall. EUA, 1988.
2. Kazuaki, Muroa, Kenkichi, Hirade. **GMSK Modulation for Digital Mobile Radio Telephony.** IEEE Transactions on Communications. Vol. 29, No. 7, Julio 1981.
3. Tisal, Joachim. **GSM Cellular Radio Telephony.** Editorial: John Wiley & Sons. Gran Bretaña, 1998
4. L. Freeman, Roger. **Telecommunications Transmission. Hand-book.** 4ª Edición. Editorial: Wiley-Interscience
5. Strempler, Ferrer G. **Sistemas de Comunicación.** Editorial: Alfaomega. México, 1989.
6. Laiho, Jana; Wacker, Achim; Novosad, Tomáš. **Radio Network Planning and Optimisation for UMTS.** Editorial John Wiley & Sons, LTD. Gran Bretaña, 2002.
7. Dunlop, John; Girma Demessie; Irvine, James. **Digital Mobile Communications and the TETRA System.** Editorial John Wiley & Sons, LTD. Gran Bretaña, 1999.
8. Kaaranen, Heikki; Ahtainen, Ari; Laitinen, Lauri; Naghian, Siamäk; Niemi, Valtteri. **UMTS Networks. Architecture, Mobility and Services.** Editorial John Wiley & Sons, LTD. Gran Bretaña, 2001.
9. Holma, Harri; Toskala, Antti. **WCDMA for UMTS.** Editorial John Wiley & Sons, LTD. Gran Bretaña, 2001.
10. Castro, P. Jonathan. **The UMTS Network and Radio Access Technology.** Editorial John Wiley & Sons, LTD. Gran Bretaña, 2001.
11. Siwiak, Kazimierz. **Radiowave Propagation and Antennas for Personal Communications.** 2da Edición. Editorial: Artech House. 1998
12. Tero, Ojanperä; Ramjee, Prasad. **Wideband CDMA for Third Generation Mobile Communications.** Editorial: Artech House. USA, 1998.
13. Muratore, Flavio. **UMTS Mobile Communications for the Future.** Editorial: John Wiley & Sons, Ltd. Gran Bretaña, 2001.

## **Páginas de Internet**

14. [www.etsi.org](http://www.etsi.org)
15. [www.cft.gob.mx](http://www.cft.gob.mx)
16. [www.telefoniamovistar.com.mx](http://www.telefoniamovistar.com.mx)
17. [www.radio.gov.uk](http://www.radio.gov.uk)
18. [www.telcel.com](http://www.telcel.com)
19. [www.iusacell.com.mx](http://www.iusacell.com.mx)
20. [www.unefon.com.mx](http://www.unefon.com.mx)
21. [www.iec.org](http://www.iec.org)
22. [www.cdg.org](http://www.cdg.org)
23. [www.ericsson.es](http://www.ericsson.es)
24. [www.telcel.net.ve](http://www.telcel.net.ve)
25. [www.imt-2000.org](http://www.imt-2000.org)
26. [www.umts-forum.org](http://www.umts-forum.org)
27. [www.3gpp.org](http://www.3gpp.org)
28. <http://www.umtsworld.com/technology/linkbudget.htm>
29. <http://murray.newcastle.edu.au/users/staff/eemf/ELEC351/SProjects/ChanChng/Physics2.html>
30. <http://www.rfcafe.com>